

**ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-
ECONÓMICA DE VALORIZACIÓN DE ESTIÉRCOL
MEDIANTE VERMICOMPOSTAJE EN UNA
EXPLOTACIÓN CUNÍCOLA**



IGNACIO MORENO TOMÉ

2018



ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

**Máster Universitario de Investigación en
Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos**



**ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-
ECONÓMICA DE VALORIZACIÓN DE ESTIÉRCOL
MEDIANTE VERMICOMPOSTAJE EN UNA
EXPLOTACIÓN CUNÍCOLA**

Vº Bº DIRECTOR

Mercedes Sánchez Báscones

ALUMNO

Ignacio Moreno Tomé



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza al alumno **D. Ignacio Moreno Tomé**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Estudio de viabilidad técnico-económica de valorización de estiércol, de una explotación cunícola, mediante vermicompostaje”, bajo la dirección de D^a. Mercedes Sánchez Báscones (Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid), debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 6 de septiembre de 2018

La Directora del Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos

CONCEPCION PAREDES GIL
 Miguel Hernández
 DE ELCHE
 CAMPUS DE ORIHUELA
 DEPARTAMENTO DE
 AGROQUÍMICA Y
 MEDIO AMBIENTE

Fdo.: Concepción Paredes Gil

TRIBUNAL	
FECHA:	
PRESIDENTE:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

IDENTIFICACIONES

Autor: Ignacio Moreno Tomé

Título: *“Estudio de viabilidad técnico-económica de valorización de estiércol mediante vermicompostaje en una explotación cunícola”*

Title: *“Technic and economic viability study of manure valorization through vermicomposting in a cunicola exploitation”.*

Director/es del TFM: Mercedes Sanchez Bascones

Año: 2018

Titulación: MASTER UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN, TRATAMIENTO Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Tipo de proyecto: ESTUDIO

Palabras claves: Gestión del estiércol, explotación cunícola, vermicultura, viabilidad técnico-económica

Keywords: Manure management, cunicola exploitation, vermiculture, Technic and economic viability

Nº citas bibliográficas: 111

Nº de planos: 0

Nº de tablas: 19

Nº de figuras: 13

Nº de anexos: 0

RESUMEN

La gestión del estiércol en las explotaciones cunícolas supone el cumplimiento de diferentes normativas medioambientales. Esto limita el destino de los residuos, con repercusiones económicas para los ganaderos. Una posibilidad para el tratamiento de los estiércoles generados es la vermicultura. La gestión de estos residuos utilizando lombrices, aporta una solución respetuosa con el medioambiente y una fuente de ingresos novedosa a las explotaciones. Se ha estudiado la viabilidad técnica y económica de la aplicación de la vermicultura en una explotación cunicola con características estándar a nivel nacional, resultando satisfactorio tanto económica como técnicamente, así como compatible con la actividad habitual de la explotación.

ABSTRACT

Manure management in cunicola exploitations is supposed to fulfill with many environmental normatives. This fact limits the waste destination, with economic repercussions for the ranchers. One possibility for the manure generated is their treatment through the vermiculture. The management of this waste using earthworms contribute with a respectful solution for the environment and a source of income for the exploitations. Technic and economic viability have been studied at a cunicola exploitation with standard characteristics in Spain. The results are satisfactory both economic and technically and these are compatible with the normal activity of the exploitation.

INDICE

1. Introducción.....	1
2. Objetivos del estudio.....	2
3. Antecedentes.....	3
3.1. Sector de la cunicultura en España.....	3
3.2. Gestión de estiércoles en cunicultura.....	5
3.3. Tratamientos de las deyecciones de conejos.....	8
3.4. Características estiércol conejo.....	9
3.5. El proceso de vermicompostaje.....	11
3.5.1. Organismos del proceso.....	14
3.5.1.1. Lombrices de tierra.....	14
3.5.1.2. Microorganismos implicados en el vermicompostaje.....	20
3.5.1.3. Fauna asociada al proceso de vermicompostaje.....	21
3.5.2. Etapas del proceso de vermicompostaje.....	22
3.5.3. Características necesarias de los residuos orgánicos para vermicompostar.....	23
3.5.4. Monitorización de un proceso de vermicompostaje.....	28
3.5.5. Microorganismos patógenos.....	32
3.5.6. Sistema de vermicompostaje.....	32
3.5.6.1. S. de vermicompostaje tradicional o de alimentación discontinua.....	32
3.5.6.2. Procesos a escala industrial.....	34
3.5.7. Productos finales del vermicompostaje.....	35
3.5.7.1. Lombrices.....	36
3.5.7.2. Té o extractos líquidos de vermicomposts sólidos.....	37
3.5.7.3. Extractos húmicos de vermicomposts sólidos.....	37
3.5.7.4. Lixiviados del vermicompostaje.....	38

3.6.	Características del producto final.....	39
3.7.	Estudio Legal.....	40
4.	Análisis de viabilidad técnica.....	44
4.1.	Localización.....	44
4.2.	Distribución de la explotación.....	45
4.3.	Ciclo productivo.....	46
4.3.1.	Planificación, distribución y estancia de los animales en las naves.....	46
4.4.	Sistema de alimentación.....	48
4.5.	Instalación de agua de bebida.....	49
4.6.	Instalaciones para la gestión del estiércol.....	50
4.6.1.	Fosas.....	50
4.6.2.	Sistemas de extracción interior.....	51
4.6.3.	Sistema de transporte exterior de las deyecciones.....	53
4.6.4.	Instalaciones de almacenamiento y acondicionamiento del estiércol.....	53
4.7.	Diseño y necesidades de la zona de vermicompostaje.....	55
5.	Análisis de viabilidad económica.....	62
5.1.	Inversión necesaria.....	62
5.2.	Costes de explotación.....	63
5.3.	Mano de Obra.....	64
5.4.	Ingresos.....	64
5.5.	Estudio económico.....	65
6.	Conclusiones.....	69
7.	Bibliografía.....	70

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Principales especies de lombrices epigéicas utilizadas en procesos de vermicompostaje (Fernández, 2011) (Nogales et al., 2014)

Fig. 2: Ciclo de reproducción *Eisenia foétida* (Díaz, 2002)

Fig. 3: *Eisenia fétida* (Díaz, 2002)

Fig. 4: Cocones (Díaz, 2002)

Fig. 5: Etapas de un proceso de vermicompostaje (Nogales, Romero, Fernandez, 2014)

Fig 6: Imagen explotación (SIGPAC)

Fig 7: Croquis distribución explotación

Fig 8: Ciclo reproductivo coneja

Fig 9: Ciclo ocupación nave

Fig. 10: Sistema de fosa convencional

Fig. 11: Sistema de arrastre de estiércol.

Fig 12: Disposición de lechos

Fig 13: Datos meterologicos (Meteoblue)

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción y composición (NP) de heces y orina en conejos. (FAO)

Tabla 2. Estimación de la producción de heces y orina en conejos a partir del consumo de pienso. (Roca, 1980)

Tabla 3: Composición nutritiva (NPK) típica de distintos estiércoles (http://ecosyn.us/ecocity/Links/My_Links_Pages/rabbit_manure01.html)

Tabla 4. Características iniciales del estiércol de conejo de acuerdo con el sistema de recogida (Solivia, 1995)

Tabla 5. Composición media de deyecciones según las especies (resultados expresados en % sobre producto fresco) (Prats Roseáis,1996)

Tabla 6. Características de la biología de las diversas especies de lombrices utilizadas en procesos de vermicompostaje (Domínguez, 2004;Parthasarathi, 2007; Tripathi & Bhardwaj, 2004) (Fernández, 2011). *Miguel Hernández*

Tabla 7. Ventajas e inconvenientes de diferentes estiércoles para su uso en procesos de vermicompostaje (Munroe, 2004).

Tabla 8. Parámetros aconsejables para monitorizar durante un proceso de vermicompostaje incluyendo su frecuencia de control de la información que aportan al proceso (Nogales, R., Romero, E., Fernandez, M. 2014)

Tabla 9. Propiedades químicas de diferentes vermicompost. (Soriano, M.D., Molina, M.J., Llinares, J. 2012)

Tabla 10. Límite máximo de metales fertilizantes orgánicos (El Real Decreto 506/2013, de 28 de junio)

Tabla 11. Coste compra maquinaria, útiles y herramientas

Tabla 12. Coste alquiler maquinaria.

Tabla 13. Previsión de compras anual

Tabla 14. Previsión de ventas anual

Tabla 15: Estudio económico

Tabla 16: Previsión de ventas anual precio 0.14 €/t.

Tabla 17: Estudio económico análisis variación de precio 0.12 €/t.

Tabla 18: Previsión de ventas anual precio 0.14 €/t.

Tabla 19: Estudio económico análisis variación de precio 0.12 €/t.



1. Introducción

En las explotaciones ganaderas, la correcta gestión de sus estiércoles cobra cada día más importancia. En zonas donde la densidad de explotaciones es elevada la gestión puede llegar a ser complicada, incluso convertirse en un problema para la explotación, comprometiendo en algunos casos la viabilidad de la misma.

El estiércol es una materia prima para la fabricación de fertilizante y enmiendas orgánicas. Con la aplicación de diferentes tratamientos podemos conseguir un producto de alto valor para la agricultura, con demanda en el mercado y medioambientalmente sostenible.

La vermicultura consiste en el tratamiento de residuos orgánicos utilizando lombrices, donde estas alimentándose de dichos residuos, pueden generar un producto de calidad denominado humus o vermicompost, con demanda en la agricultura y jardinería por sus capacidades mejorantes del suelo y aportes nutricionales a las plantas.

En este trabajo se estudia la posibilidad de aplicación de la vermicultura al estiércol producido en una explotación cunícola, con la intención de dar salida a este y generar una nueva fuente de ingresos en la explotación.

El estiércol de conejo tiene buenas capacidades y cualidades para ser tratado por las lombrices, lo que facilita bastante la aplicación de este tratamiento sobre estos residuos.

El humus de lombriz generado a partir del estiércol de conejo es de gran calidad por lo que es posible fabricar un producto con alto valor en el mercado.

2. Objetivos del estudio

El objetivo general del presente estudio consiste en determinar la rentabilidad de la aplicación de la vermicultura para producir humus, a partir del estiércol producido en una explotación cunícola de 700 reproductoras, y las condiciones que optimizan este estudio en su conjunto. Para ello se estudian los siguientes aspectos:

1. El diseño óptimo de la actividad, junto con la estructura de costes asociada a ésta, según las condiciones particulares de la zona, tratando de maximizar la rentabilidad total del proyecto.
2. Las decisiones operacionales que apoyan el objetivo anterior; es decir, a nivel de dimensionamiento de instalaciones y decidir si es necesario el uso de maquinaria para mecanizar labores de producción.
3. El nivel de producción adecuado de humus en base a un análisis y caracterización del mercado, basándose en la información obtenida que describe el mismo.
4. La rentabilidad del proyecto por medio de la realización de un flujo de caja, incorporando todos los elementos propios del proyecto junto con los factores que inciden en éste realizando un análisis de sensibilidad.

La finalidad del estudio es la venta del humus de lombriz del que se obtendrán la mayoría de los ingresos, pero también se debe considerar otros ingresos alternativos, como los derivados de la venta de los excedentes de lombriz producidos en los años de explotación.

De esta manera trataremos de tener una nueva fuente de ingresos en la explotación, utilizando un recurso sin prácticamente aprovechamiento económico actual, como es el estiércol.

3. Antecedentes

3.1. Sector de la cunicultura en España

En el sector de la cunicultura, a nivel comunitario España es, tras Francia, la segunda productora, representando un 25,5% del total de la producción carne de conejo de la UE. El consumo de carne de conejo tiene un fuerte componente cultural que hace que sólo se consuma en unos pocos países de la UE. Así, toda la producción y consumo, está concentrada en nueve países de la UE, y fundamentalmente en los tres primeros productores (Francia, España, Italia), que abarcan más del 85% de la producción comunitaria.

Durante los últimos años el sector productivo ha conseguido una fuerte profesionalización de la actividad, lo que ha provocado un descenso de la producción local en los lugares de consumo donde los circuitos de distribución eran cortos, reduciéndose la producción a cunicultores profesionales, disminuyendo el número de explotaciones. (MAGRAMA, 2018)

En la actualidad existe una mayor concentración de la producción y el sacrificio en industriales de mayor tamaño, por lo que la capacidad productiva nacional se mantiene estable.

En la campaña de 2017, y tratándose de datos aún provisionales, los datos recabados de las encuestas de sacrificio de ganado reflejan una producción de 56.782 toneladas con un total de 45.8 millones de conejos sacrificados.

En cuanto a la distribución geográfica de la producción, puede observarse, en este mapa, cuáles son las CCAA donde se concentran la mayor parte de los sacrificios de conejos: Cataluña, Galicia, Aragón y C. León.



Fig. 1. Distribución geográfica de la producción cunícola (MAGRAMA)

El sector cunícola está experimentando una concentración de su eslabón productor, que tiene como consecuencia la desaparición de las explotaciones de menor dimensión y con menor capacidad competitiva. Este descenso ha sido dramático en los últimos años, coincidiendo con la crisis de mercado producida por el incremento de los costes de producción, de manera que han causado baja casi un 40% de las explotaciones cunícolas en los últimos 8 años.

Si bien, las consultas de REGA ofrecen, en 2017, un total de 3.818 explotaciones cunícolas, hay que mencionar que las que realmente tienen carácter productivo (explotaciones de producción de gazapos que no sean de autoconsumo) son unas 1.800, cifra considerada por el sector acorde a la realidad del mismo.

En cuanto a la distribución de las explotaciones cunícolas por CCAA, tenemos que destacar que es Cataluña, la Comunidad Autónoma que más explotaciones tiene registradas de todo el país y ésta se caracteriza por poseer aquellas de menor tamaño y carácter más familiar, la mayoría tienen menos de 400 madres.

Por el contrario, las CCAA que albergan las explotaciones más grandes (más de 800 madres) y se caracterizan por desarrollar una cunicultura más profesionalizada son Castilla y León, Galicia o Valencia.

En cuanto al censo, los registros de 2017, reflejaron una reducción del 4,5% respecto a la cifra de la misma fecha de 2016. Continúa el fenómeno de concentración del eslabón productor que se equilibra a la reducción, asimismo, de producción.

En Cataluña, Castilla y León, Galicia, Comunidad Valenciana y Aragón se concentra más del 80% del censo cunícola. (MAGRAMA, 2018)

3.2. Gestión de estiércoles en cunicultura.

En el sector ganadero es conocido el problema de la gestión del estiércol, esta situación, impensable hace unos años, está extendiéndose por las diferentes zonas en las que se concentra en mayor medida la ganadería.

Tradicionalmente el estiércol que constituía un valor, se puede convertir actualmente en un coste, debido al volumen de oferta existente en las zonas de concentración de la ganadería, distante en muchas ocasiones de las zonas de consumo, dedicadas a los cultivos.

Entre otras cuestiones, la gestión de los estiércoles es una de las más importantes a considerar desde diferentes puntos de vista (sanitario, ambiental y económico), que en el caso concreto del conejo además de las deyecciones propiamente dichas habría que añadir las pérdidas de agua de los bebederos, pelos, restos de pienso, agua de limpieza, restos de nidales (paja, serrín, etc..), etc... que representan una pequeña proporción en el conjunto del estiércol. (Blumetto y Torres ,2005)

El Real Decreto 1547/2004 por el que se establecen las normas de ordenación de las explotaciones cunícolas, indica que éstas, para la gestión de los estiércoles, deberán disponer de fosa o estercolero impermeabilizado natural o artificialmente que eviten el riesgo de filtración y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas,

asegurando la recogida de lixiviados y evitando los arrastres por agua de lluvia, con capacidad suficiente para permitir su gestión adecuada. Aunque esta norma legal únicamente se refiere al almacenamiento (interior y exterior), la gestión de los estiércoles es un problema complejo en el que intervienen muchos factores y cuyo objetivo es dar una solución adecuada a los mismos, evitando riesgos medioambientales y sanitarios en el sentido más amplio.

En un sistema de gestión de estiércol debemos tener en cuenta (Blumetto y Torres ,2005):

- Características cuantitativas y cualitativas del estiércol
- El entorno de recogida inmediata del estiércol
- Almacenamiento del estiércol, tanto interior como exterior de las naves
- El tratamiento al que se someta, si es que existe para modificar y mejorar sus características
- El plan de aplicación o eliminación
- Todos los movimientos, o transferencias internas y externas, entre sus componentes

Además de todo lo anterior, que está relacionado con el diseño de instalaciones y equipamiento necesario para su recogida, almacenamiento, etc... y con el plan de gestión correspondiente, también hay que tener en cuenta las necesidades de mano de obra y costes energéticos que implica el conjunto de la gestión.

Las deyecciones cunícolas están compuestas por dos fases diferenciadas, que se gestionan conjuntamente:

- Fase sólida (heces)
- Fase líquida (orina)

La cantidad o volumen de deyecciones producidas es un dato importante para el cálculo de las instalaciones y equipos asociados a su gestión, y para cuantificar la mano de obra necesaria para su manejo, dentro y fuera de las granjas. A pesar de esa

importancia son muy escasos los datos publicados al respecto sobre la cantidad de heces y orina generados por unidades de producción comercial. Además, las magnitudes propuestas por los distintos autores varían enormemente, debido a los muchos factores que influyen: estado fisiológico y/o productivo, nivel de alimentación, composición de la dieta, etc. (Blumetto y Torres ,2005)

En la Tabla 1 se presentan otros datos de producción al respecto, y la composición en elementos nitrógeno y potasio.

Tabla 1. Producción y composición (NP) de heces y orina en conejos. (FAO)

Animal	Tipo	Cantidad (g/día)	Composición (% sf)	
			Nitrógeno	P ₂ O ₅
Gazapo cebo	Heces	40-50	1,5-1,7	2,0-5,0
	Orina	80-110	1,0-1,3	0,05
Coneja lactación	Heces	150-200	1,2-1,5	5,0-7,0
	Orina	250-300	1,0-1,3	>0,02
Resto adultos	Heces	70-80	1,2-1,5	2,0-4,0
	Orina	100	1,0-1,3	0,08

Roca (1980) presenta una guía muy interesante para el cálculo de la cantidad de deyecciones producidas a partir del consumo de pienso, que es fácil de medir o estimar. En la Tabla 2, se muestran las fórmulas que proponen al respecto.

Tabla 2. Estimación de la producción de heces y orina en conejos a partir del consumo de pienso. (Roca ,1980)

Tipo de animal	Heces duras producidas	Orina producida
Coneja gestante o macho reproductor.	$\frac{\text{Consumo pienso}}{2}$	$\text{sólido} + \frac{\text{sólido} \times 2}{5}$
Coneja lactante	$\frac{\text{Consumo pienso} \times 2}{3}$	$\text{sólido} + \frac{\text{sólido} \times 2}{3}$
Gazapo en engorde	$\frac{\text{Consumo pienso} \times 2}{5}$	$\text{sólido} \times 2 + \frac{\text{sólido}}{3}$

Flotats (2004) presenta datos sobre producción de estiércoles para diferentes especies, proporcionando para el conejo 0,412 m³ por plaza y año, con una densidad de 0,75 t/m³. Estas cifras incluyen madres y partes correspondientes de reposición, y engorde.

Una vez retirado de las naves el estiércol debe ser correctamente gestionado. Como se ha comentado, el Real Decreto 1547/2004 que contiene las normas de ordenación de las explotaciones cunícolas, establece que las explotaciones deben disponer de estercolero impermeabilizado, natural o artificialmente, para evitar el riesgo de filtración hacia las aguas superficiales o subterráneas. Debe recoger todos los lixiviados de la explotación y estar cubierto para evitar arrastres pluviales. Debe tener además capacidad suficiente para almacenar y gestionar adecuadamente.

El almacenamiento es absolutamente necesario porque las deyecciones se producen continuamente y las salidas suelen ser muy temporales, mayoritariamente según las necesidades de los cultivos.

3.3. Tratamientos de las deyecciones de conejos

No es habitual tratar el estiércol de conejos para reducir su carga contaminante o para obtener energía (biogás), como ocurre con otros estiércoles y residuos ganaderos, éstos suelen ser utilizadas directamente como enmienda orgánica para suelos agrícolas, y generalmente no necesitan más que un cierto periodo de maduración, estos tratamientos permiten obtener un abono más estable y con mejores cualidades fertilizantes que el estiércol fresco.

El compostaje es un tratamiento mediante el cual se facilita la degradación microbiológica aeróbica del estiércol. En un tiempo aproximadamente de 3 meses, en función de los parámetros ambientales, el volumen total se reduce por evaporación de agua y la pérdida de CO₂ resultado de la utilización del carbono por los microorganismos. El proceso genera calor, el cual higieniza el producto, eliminando muchos parásitos y posibles microorganismos patógenos.

Tanto la elevación de la temperatura como la aireación pueden ser controladas a través de la remoción del material de forma periódica. El estiércol colocado en pilas es removido con palas de tractor, rastrillos o aparatos diseñados a esos efectos, los cuales oxigenan aumentando temporalmente la porosidad de la mezcla.

El vermicompostaje es una alternativa del proceso en la cual la degradación aerobia es facilitada por la presencia de lombrices. La producción de lombrices es una práctica bastante extendida mediante la cual sobre estiércol de ciertas características se crían lombrices. Estos anélidos procesan el estiércol pasándolo por sus aparatos digestivos donde es atacado por enzimas y microorganismos. En términos generales esto acelera el proceso, modifica en algo la composición y mejora las características físicas; como producto secundario se obtiene las lombrices que pueden ser utilizadas con varios fines: alimentación animal, cebo para pesca o como pie de cría para otras explotaciones.

3.4. Características estiércol conejo

La composición de estos residuos es también una particularidad de la especie, el gran contenido en fibra del alimento y por tanto de las heces, es una característica poco común en otros monogástricos domésticos y en cierta medida se parece algo más a lo que ocurre con los rumiantes. Otro aspecto que condiciona dicha composición es la relativamente alta separación entre fases líquida y sólida (heces y orina) y la característica biológica propia de la especie mediante la cual se eliminan gran parte de los minerales dietarios a través de la orina (Blumetto y Torres ,2005).

Tabla 3: Composición nutritiva (NPK) típica de distintos estiércoles. Anónimo (2004).

Material	Composición (%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Estiércol de conejo	2,4	1,4	0,6-0,8
Gallinaza	1,1	0,8	0,5
Estiércol de ovino	0,7	0,3	0,9
Estiércol de vacuno	0,6	0,2	0,5
Estiércol de porcino	0,3-0,5	1,0-1,3	0,08

Se trata de un estiércol de alto valor fertilizante, en comparación con los de otras especies ganaderas, considerado como el de mayor concentración nutritiva sobre materia fresca.

Tabla 4. Características iniciales del estiércol de conejo de acuerdo con el sistema de recogida. (Solivia, 1995)

Concepto	Recogidos en fosa	Recogidos en pilas cada día
% Humedad	72,40	57,40
pH	7,5	7,66
CE/ds/m	5,57	4,89
% Materia Orgánica	70,35	84,32
N-NH ₄ ⁺ (PPM)	1980,00	829,00
% N orgánico	2,33	1,62
%P ₂ O ₅	2,92	2,09
% K ₂ O	1,87	1,33
% Ca	2,83	1,05
% Na	0,44	0,33
% Fe	0,38	0,16
ppm Zn	2950,00	1214,00
ppm Mn	276,00	235,00
Ppm Cu	43,00	47,00

Tabla 5. Composición media de deyecciones según las especies (resultados expresados en % sobre producto fresco). (Prats Roseéis,1996).

Tipo de Animal	M.S.	N Total	P	K	Ca	Mg	pH	C/N
Bovino	8-15	0,46	0,22	0,63	0,36	0,15	6,5-7	10-30
Porcino	9-10	0,4-0,6	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,08-0,1	7	3-5
Corderos	25	0,8	0,8	0,9	1,2	0,4	7	13-17
Ponedoras	25-30	1,5-3	1,1-3	2,3	1,5	1,3	7,2	9-11
Conejos	40-50	0,7-2	1,3-5	0,2-1,2	0,9-3		7,2-9	11-19

3.5. El proceso de vermicompostaje

A diferencia del compostaje, que tiene lugar por acción de los microorganismos bajo condiciones termofílicas, el vermicompostaje es un proceso de degradación acelerada de la materia orgánica en régimen de temperaturas mesofílico llevado a cabo por la acción conjunta de algunas especies de lombrices de tierra y microorganismos. Las lombrices se encargan de fragmentar el sustrato reduciendo su tamaño de partícula y modificando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, de forma que incrementan la superficie disponible para el ataque de los microorganismos. Por su parte, los microorganismos llevan a cabo la descomposición bioquímica del sustrato (Domínguez, 2004). Entre las lombrices y los microorganismos se establecen interacciones complejas de forma que estos últimos proporcionan alimento a las lombrices mientras que éstas, a su vez, condicionan en gran medida la estructura y funcionamiento de las comunidades microbianas del residuo (Aira *et al.*, 2007; Nogales *et al.*, 2014).

El vermicompostaje, lu(o)mbricompostaje o compostaje con lombrices, en sus diferentes acepciones, es un proceso biotecnológico de bajo coste que permite biodegradar y estabilizar residuos orgánicos bajo condiciones aerobias y mesófilas mediante la acción de ciertas especies de lombrices de tierra capaces de alimentarse del residuo a la vez que aceleran su degradación microbiana. Así, en este proceso se aprovecha la capacidad detritívora de las lombrices, que ingieren, trituran y digieren el residuo orgánico, descomponiéndolo mediante la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaerobia presente en el interior de su intestino (Edward, 1988; Nogales *et al.*, 2014)

El vermicompostaje, es el proceso orientado a convertir residuos orgánicos en vermicompost o también llamado humus de lombriz, utilizando las lombrices para ello, el producto orgánico resultante tiene alto valor agrícola.

El vermicompostaje es diferente al vermicultivo, lu(o)mbricultivo o la lombricultura, ya que el objetivo principal de estos es la producción de lombrices, siendo secundario la optimización del vermicompost.

Las diferentes especies de lombrices involucradas en el proceso son capaces de ingerir al día cantidades de residuos equivalentes al 50-100% de su propio peso, dependiendo del tipo de residuo y la especie de lombriz empleada (Edwards & Bohlen, 1996; Fernández, 2011).

La digestión del residuo orgánico por la lombriz conlleva una alteración física ya que éste es fragmentado, reduciéndose su volumen hasta aproximadamente el 50% (Sinha *et al.*, 2010b), a la vez que aumenta su relación superficie-volumen; lo cual facilita la colonización microbiana del residuo excretado (Domínguez, 2004). El paso del residuo orgánico a través del intestino de la lombriz también altera su composición química de forma que se incrementa la concentración de nutrientes fácilmente asimilables para los microorganismos, los cuales proliferan rápidamente en el residuo recién excretado terminando su degradación (Fernández, 2011; Parthasarathi & Ranganathan, 1999).

Además, indirectamente, el mucus segregado por la lombriz y sus excreciones estimulan la proliferación de microorganismos degradadores de materia orgánica en el residuo durante el proceso de vermicompostaje, pues estas sustancias son una fuente de compuestos de fácil asimilación para los microorganismos (Domínguez *et al.*, 2010; Fernández, 2011).

Igualmente, el movimiento de las lombrices a través del residuo del que se alimentan promueve su aireación estimulando su bioxidación microbiana (Domínguez, 2004). De este modo, gracias a la acción conjunta de lombrices y microorganismos el residuo orgánico es degradado hasta mineralizarse parcialmente, humificarse y estabilizarse (Fernández, 2011).

El vermicompostaje también suele producir un aumento general de la concentración de nutrientes vegetales en el residuo vermicompostado (Buchanam *et al.*, 1988). Este fenómeno es consecuencia de la mineralización la materia orgánica del residuo y de la reducción de su volumen ocurrida tras el vermicompostaje, la cual resulta en un aumento de la concentración de nutrientes en el residuo orgánico

vermicompostado, especialmente apreciable en el caso del fósforo, calcio, magnesio y algunos micronutrientes (Nogales *et al.*, 2008). Además, el vermicompostaje favorece que los elementos de la materia orgánica se mineralicen hasta formas químicas solubles que son fácilmente asimiladas por las plantas (Edwards & Burrows, 1988). En el caso particular del nitrógeno, el vermicompostaje tiene un efecto variable en su concentración observándose tanto aumentos como disminuciones, dependiendo del tipo de residuo orgánico y de las condiciones particulares de vermicompostaje. Por el contrario, algunos nutrientes, como el potasio, pueden perderse tras el vermicompostaje, especialmente cuando éste se lleva a cabo usando sistemas que permiten el drenaje de agua contenida en el lecho orgánico. En estos sistemas de vermicompostaje, un exceso de agua aplicada causa que las formas químicas altamente solubles liberadas tras la mineralización de los residuos orgánicos pueden sean arrastradas con el agua de drenaje (Fernández, 2011; Garg & Kaushik, 2005).

El proceso de vermicompostaje permite la biodegradación de un gran número de residuos orgánicos, los costes de inversión, energéticos y de mantenimiento son moderadamente bajos.

Las ventajas de este proceso de la materia orgánica son:

- a) Eliminación de residuos orgánicos nocivos, insalubres, molestos y de difícil gestión,
- b) Obtención de un producto final útil (vermicompost), de gran valor como enmienda orgánica del suelo de alta calidad.
- c) Producción de una gran biomasa de lombriz, de alto contenido proteico y de alta calidad para alimentación animal (avícola, porcino y piscícola, fundamentalmente).

3.5.1. Organismos del proceso

3.5.1.1. Lombrices de tierra

Las lombrices representan la mayor parte de la biomasa de la fauna edáfica. Por medio de su actividad alimenticia, de excavación, deposición de heces en el interior del suelo o en la superficie las diferentes especies modifican las características físicas, químicas y biológicas del medio donde viven. Estas actividades dependen en gran parte de su tamaño y de sus requerimientos alimenticios, y son marcadamente diferentes entre especies que ocupan regiones diferentes del perfil del suelo. Estas diferencias permiten clasificar a las lombrices de tierra en tres categorías ecológicas (Bouche 1972): Epigeas, Endogeas y Anécicas.

- Las **Epigeas** son lombrices de tierra de pequeño tamaño, pigmentación oscura, que viven en la parte superior de los horizontes orgánicos del suelo, donde se acumulan restos vegetales muertos y las heces de los animales. Consumen grandes cantidades de materia orgánica fresca, favoreciendo su mayor degradación por parte de los microorganismos y del resto de la fauna del suelo. Pero apenas influyen en la estructura del suelo (Nogales *et al.*, 2014).
- Las **Endogeas** son lombrices de pequeño y mediano tamaño que carecen de pigmentación y que construyen galerías en los horizontes orgánico-minerales del suelo. Son geófagas y pueden depositar grandes cantidades de heces en la superficie del suelo modificando su grado de compactación y favoreciendo la agregación de sus partículas (Nogales *et al.*, 2014).
- las **Anécicas** son de gran tamaño con pigmentación oscura anterodorsalmente y con una fuerte musculatura en la parte anterior del cuerpo. Construyen galerías verticales permanentes que favorecen la aireación y el paso del agua, alterando la estructura del suelo. Alimentándose de detritos vegetales o de heces de otros animales, muestran ciclos vitales largos con baja tasa de reproducción. Estas depositan sus deyecciones en la superficie del suelo e

introducen materia orgánica en los horizontes minerales creando puntos calientes de actividad microbiana (Nogales *et al.*, 2014).

Dentro de la gran variedad de especies de lombrices existentes, son pocas las que se pueden utilizar en la degradación de residuos orgánicos, pertenecientes a tres Familias del Orden Haplotaxida:

- Lumbricidae: *Eisenia fétida*, *Eisenia Andrei*, *Dendrobaena veneta*, *Dendrodrilus rubidus*, *lumbricus rubellus*.
- Eudrilidae: *Eudrilus eugeniae*
- Megascolecidae: *Perionix excavatus* y *Lampito mauritii*.

Y del Orden Moniligastrida una Familia:

- Moniligastridae: *Drawida nepalensis*

Estas lombrices presentan una estrategia reproductiva “r” (rápida y prolífica), lo cual permite que sucesivas generaciones se vayan sustituyendo de manera continua, manteniendo así unas altas tasas de consumo del sustrato orgánico, lo cual acelera la degradación del mismo.



Fig. 1. Principales especies de lombrices epigéicas utilizadas en procesos de vermicompostaje (Fernández, 2011; Nogales *et al.*, 2014).

Eisenia fetida (Saviigny, 1826) y Eisenia andrei (Bouché, 1972)

Estas especies son las más comúnmente empleadas en el vermicompostaje debido a sus ventajas frente a otras especies:

- Capacidad para adaptarse a los distintos residuos orgánicos
- Amplio rango de tolerancia al pH, temperatura y humedad del alimento
- Son fuertes, resistentes y fáciles de manejar,
- Fidelidad al lecho.
- Voracidad, ya pueden consumir diariamente una cantidad de alimento equivalente a su peso

Ambas especies son muy parecidas a nivel morfológico, pudiendo convivir y desarrollarse en el mismo substrato orgánico (Bouché, 1972); hechos por los que antiguamente fueron consideradas como una única especie de lombriz (E. foetida. (Tabla 6.)

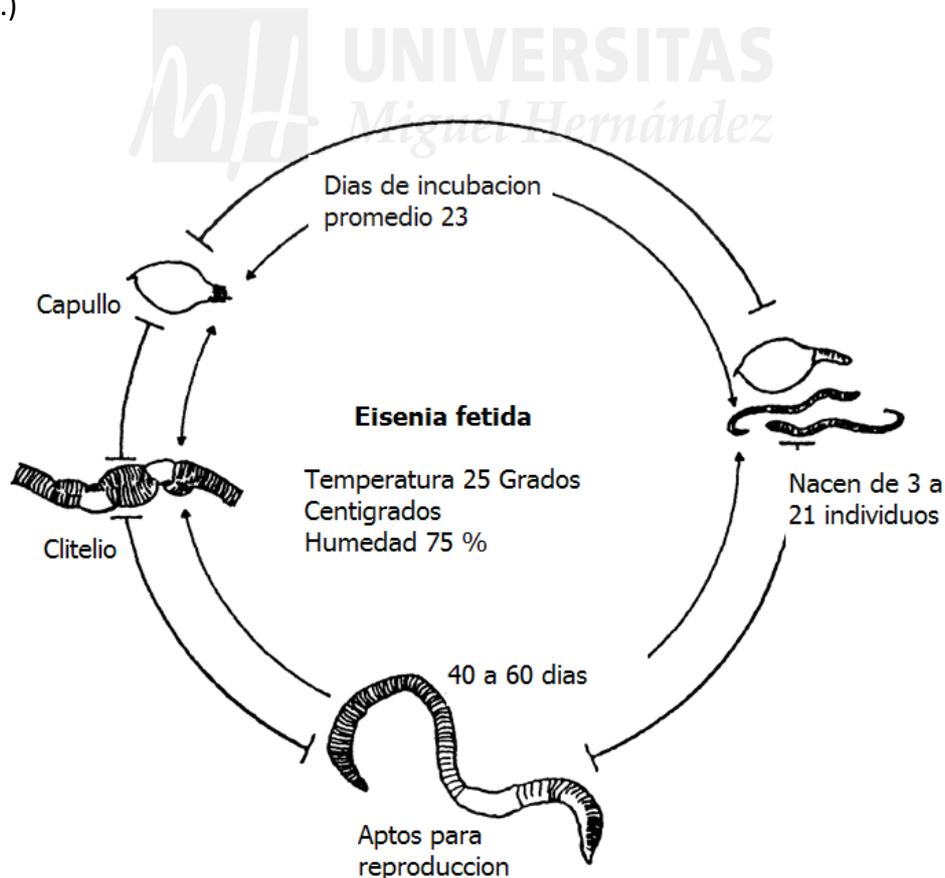


Fig. 2. Ciclo de reproducción Eisenia foética (Díaz, 2002)

¿Por qué se utiliza comercialmente la lombriz roja californiana?

Esta denominación abarca un conjunto de especies (entre ellas la eisenia foetida), seleccionadas en California durante la década del 50.



Fig. 3. Eisenia fétida (Díaz, 2002)

Esta selección se efectuó por su corto ciclo reproductivo, ver figura 5, (4 veces por año), elevada frecuencia de apareamiento (producen 1 cocón cada 7-10 días), mayor longevidad (15-16 años), su docilidad para la cría en ambientes reducidos, su voracidad (debida a la incidencia de los factores anteriores) y su mayor velocidad y volumen en la producción de vermicompost. De una sola lombriz se obtienen alrededor de 10.000 al cabo de 1 año según la siguiente tabla que contempla promedios tales como: 1 cocón por lombriz, cada 10 nacen 3 (3x3=9 por mes, 27 en 3 meses). Con un 50-70% de pérdida por migración o muerte quedan entre 8 y 13 lombrices. (Díaz, 2002)

Partiendo de una, se obtiene, entonces, un promedio de 10 cada tres meses. (Díaz, 2002)

1 lombriz	1 ciclo de 3 meses	10 lombrices por trimestre
1 lombriz	4 ciclos de 3 meses	10x10x10x10=10.000 por año

Estos valores son posibles en laboratorio pues en la práctica, por la incidencia de diversos factores climáticos y humanos, el rendimiento es menor, considerándose que una producción de 1.500 lombrices anuales denota un excelente manejo de su cría. (Díaz, 2002)

Desde el nacimiento las lombrices pueden ingerir el alimento por sus propios medios mientras esté lo suficientemente húmedo y compostado. La lombriz abre la boca e ingiere el alimento mientras avanza arrastrándose por el terreno.



Fig. 4. Cocones (Díaz, 2002)

Las lombrices poseen ambos aparatos genitales femenino y masculino, intercambian espermatozoides y dan lugar a la liberación de cocones desde ambos individuos protegidos por una sustancia viscosa elaborada por el clitelo de cada una de ellas. Les bastarán unos 25 a 30 días de incubación y de 60 a 70 días de maduración para estar en condiciones de acoplarse (Fig 2). (Díaz, 2002).

Dendrobaena rubida (Savigny, 1826) y Dendrobaena veneta (Rosa, 1886)

Ambas especies de lombrices son características de climas templados donde han sido recomendadas para el vermicompostaje gracias a una relativamente rápida velocidad de crecimiento y una capacidad de proliferación, mayor en el caso de *D. rubida* (Domínguez, 2004). Particularmente, *D. veneta* se considera una buena lombriz para producción de proteína animal debido a su mayor biomasa (Domínguez, 2004; Fernández, 2011).

Lumbricus rubellus (Hoffmeister, 1843)

La utilidad de esta especie en el desarrollo de procesos de vermicompostaje en climas templados ha sido descrita (Adi & Noor, 2009; Elvira *et al.*, 1997), pero su utilización no es tan extendida, debido a su menor tasa de crecimiento y a un ciclo de vida más largo respecto a otras lombrices. (Fernández, 2011) (Tabla 6.)

Eudrilus eugeniae (Kinberg, 1867)

Conocida como lombriz africana por ser nativa de ese continente, esta especie de lombriz es la de mayor tamaño de entre todas las usadas en vermicompostaje (Tabla 6.), proporcionando al proceso un interés extra ya que permite la producción de proteína animal a la vez que se estabiliza el residuo orgánico. Bajo unas condiciones adecuadas, esta especie es muy prolífica, presentando un crecimiento y ciclo reproductor relativamente rápido. Sin embargo, su estrecho margen de tolerancia respecto a la temperatura ambiental limita su utilización a procesos de vermicompostaje desarrollados en climas tropicales o subtropicales, a procesos de vermicompostaje donde se mantenga la temperatura controlada; así esta especie ha sido frecuentemente producida en Estados Unidos para ser comercializada como cebo de pesca (Domínguez, 2004; Fernández, 2011).

Perionyx excavatus (Perrier, 1872) y Perionyx sansibaricus (Perrier, 1872)

Conocidas como lombriz azul y lombriz púrpura, estas especies de lombrices presentan una tasa de reproducción muy alta bajo condiciones óptimas de vermicompostaje, registrando hasta un 90% de éxito en la eclosión de sus capullos (Domínguez, 2004) (Fernández, 2011).

Sin embargo, el uso de estas especies en procesos de vermicompostaje se encuentra restringido a climas tropicales y subtropicales debido a su incapacidad para resistir temperaturas bajas (Fernández, 2011).

Lampito mauritii (Kinberg, 1867)

Esta especie de lombriz es endémica de la India, por lo que su uso a nivel mundial en procesos de vermicompostaje está poco extendido, aunque existen trabajos que han descrito que esta especie es capaz de vermicompostar residuos orgánicos (Parthasarathi, 2007; Tripathi & Bhardwaj, 2004). Incluso, esta lombriz se desarrolla mejor que *E. fetida* en sustratos orgánicos con menor contenido en humedad (Tripathi & Bhardwaj, 2004), por lo que podría emplearse preferentemente en aquellos lugares donde la escasez de agua sea un factor limitante para el vermicompostaje. Sin embargo, la mayor duración de su ciclo biológico y su menor tasa reproductiva, en comparación con otras especies de lombrices (Tabla 6.), podrían ser responsables de que su utilización en vermicompostaje no se haya extendido fuera de la India (Fernández, 2011).

Tabla 6. Características de la biología de las diversas especies de lombrices utilizadas en procesos de vermicompostaje (Domínguez, 2004; Parthasarathi, 2007; Tripathi & Bhardwaj, 2004) (Fernández, 2011).

ESPECIES	BIOMASA PROMEDIO LOMBRIZ ADULTA	CICLO VIDA	CÁPSULAS	LOMBRICES	RANGO T ^º (OPTIMA)	RANGO HUMEDAD (OPTIMA)
<i>E. foetida</i> <i>E. andrei</i>	0.55 g	45-55 días	0.4	3.2	10-35 (25)°C	50-90 (80)%
<i>D. rubida</i>	0.25 g	75 días	0.2	1.7	15-25 (25)°C	65-85 (75)%
<i>D. veneta</i>	0.92 g	100-150 días	0.3	1.1	15-25 (25)°C	65-85 (75)%
<i>L. rubelius</i>	0.80 g	120-160 días	0.2	1.0	10-35 (25)°C	70-90 (80)%
<i>E. eugeniae</i>	3.00 g	50-70 días	0.4	2.5	15-35 (25)°C	70-85 (80)%
<i>P. excavatus</i>	0.55 g	40-50 días	0.2	1.0	20-40 (35)°C	75-85 (80)%
<i>L. mauritii</i>	0.88 g	150 días	0.3	3.2	20-35 (30) °C	50-80 (60)%

3.5.1.2. Microorganismos implicados en el vermicompostaje

Durante los procesos de vermicompostaje intervienen una variedad de microorganismos, fundamentalmente bacterias y hongos mesófilos, cada uno de ellos tiene una función en la descomposición, mineralización y estabilización del residuo orgánico.

El desarrollo y actividades de las lombrices y microorganismos se encuentran estrechamente ligados, ya que por una parte los microorganismos constituyen una parte fundamental de la dieta de las lombrices, con una importancia de menor a mayor de bacterias, algas, hongos y protozoos, y por otra las lombrices modifican la estructura física de los residuos, fragmentando la materia orgánica y aumentando su superficie, lo cual incrementa la actividad de los microorganismos (Edwards & Fletcher, 1988; Fernández, 2011).

Además, el aparato digestivo de la lombriz es un sistema complejo, similar para algunos autores al rumen, en el cual existen, cohabitan e intervienen diferentes microorganismos y actividades enzimáticas, que modifican sustancialmente la composición química y microbiológica del material orgánico ingerido (Drake *et al.*, 2006; Fernández, 2011).

3.5.1.3. Fauna asociada al proceso de vermicompostaje

En los procesos de vermicompostaje, especialmente aquellos realizados a gran escala, pueden participar muchos organismos que colonizan los residuos orgánicos para alimentarse de la materia orgánica o utilizarlo como refugio o cobijo. Un ejemplo son los organismos detritófagos como cochinillas u otros insectos que pueden competir con las lombrices por el alimento. Además, pueden encontrarse asociados otros invertebrados que participan en la descomposición del sustrato orgánico como nematodos, ácaros e insectos detritófagos que compiten con la lombriz por el alimento sin causar daños directamente. Todos estos organismos se conocen como fauna asociada o acompañante. En un proceso de vermicompostaje correctamente manejado, ninguno de los organismos mencionados es capaz de causar perjuicio a las lombrices, aunque la proliferación de algunos de ellos indicaría que el desarrollo del proceso de vermicompostaje no es adecuado (Fernández, 2011; Martínez *et al.*, 2003).

3.5.2. Etapas del proceso de vermicompostaje

Aunque, en general, se considera el vermicompostaje como el proceso que tiene lugar desde la inoculación de las lombrices en el residuo orgánico hasta su separación, un proceso de vermicompostaje, al igual que en el proceso de compostaje, dos etapas más, con objeto, de favorecer la supervivencia de las lombrices y obtener un vermicompost sólido de calidad y otros productos finales que lo valoricen. Por ello, actualmente se considera que el proceso de vermicompostaje consta de tres etapas en base a la actividad de las lombrices (Fernández, 2011; Nogales *et al.*, 2014).

ETAPAS DE UN PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE

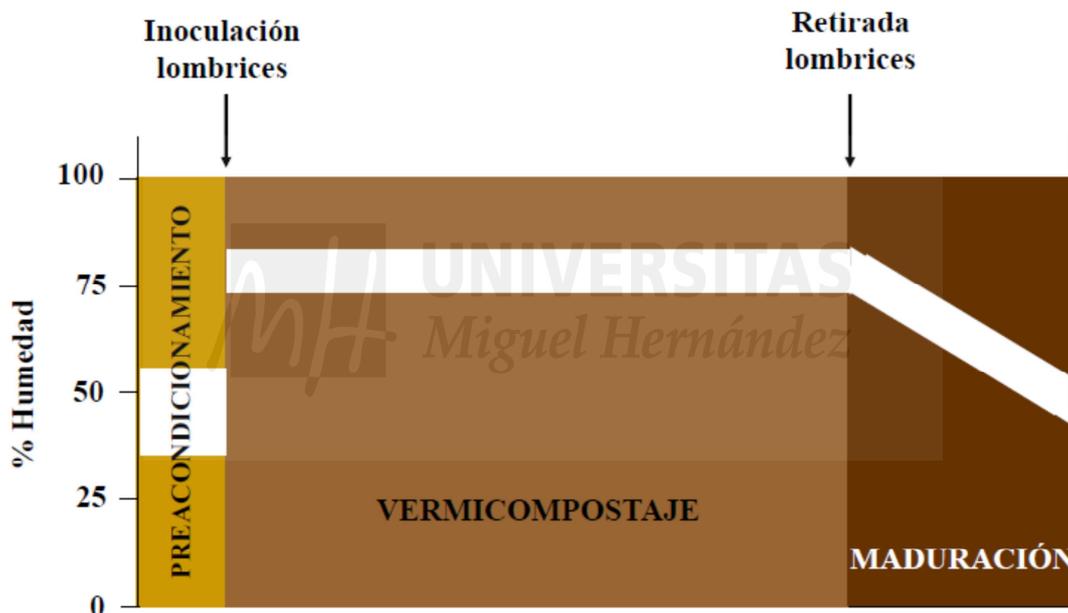


Fig. 5. Etapas de un proceso de vermicompostaje (Nogales, Romero, Fernandez, 2014)

- **Etapas de acondicionamiento:** tiene por objeto preparar a los residuos orgánicos para que sean adecuados como alimento para las lombrices, y si es posible, aumentar su biomasa microbiana. El preacondicionamiento es opcional ya que muchos residuos orgánicos pueden ser ingeridos por las lombrices sin un pretratamiento previo. Entre otros tratamientos se incluye el lavado, macerado, mezcla de varios residuos orgánicos, precompostaje (obligatorio si se van a utilizar residuos orgánicos de procedencia urbana que puedan contener microorganismos patógenos para humanos). (Nogales *et al.*, 2014)

- **Etapa de vermicompostaje:** Es el periodo de tiempo entre la inoculación y la retirada de ellas del sustrato orgánico. Su duración es variable dependiendo del tipo y las características de los residuos, la densidad de lombrices inoculadas y otros factores tales como temperatura, humedad del residuo. (Nogales *et al.*, 2014)
- **Etapa de maduración:** Una vez retirada las lombrices es aconsejable, e incluso imprescindible, dejar madurar el sustrato orgánico para aumentar su estabilidad, madurez, calidad y reducir su contenido hídrico hasta límites aceptables para su comercialización. Esta etapa que es de naturaleza pasiva, no se le suele adicionar agua y en ella solo intervienen microorganismos que finalizan la descomposición del residuo orgánico procesado en la etapa anterior. (Nogales *et al.*, 2014)

3.5.3. Características necesarias de los residuos orgánicos para vermicompostar

El resultado del vermicompostaje sobre un residuo orgánico está condicionado a que este tenga una naturaleza y característica que permitan el desarrollo de las lombrices. Las principales características a evaluar en los residuos orgánicos que van a ser puestos a disposición de las lombrices son:

- **Humedad**

La exigencia de humedad en el residuo superior al 50% se debe a que las lombrices poseen un mecanismo de intercambio gaseoso que se realiza a través de su epidermis (Edwards & Bohlen, 1996; Fernández, 2011).

Por lo que la humedad del alimento debe de ser ajustado a las necesidades de cada especie antes de introducir a estas en el lecho (Nogales *et al.*, 2014) (Tabla 6).

- **Estructura física**

Se debe acondicionar el residuo para que las lombrices puedan moverse a través del mismo, además debe tener la suficiente porosidad para permitir el intercambio de gases y el movimiento del agua por el mismo tanto para la filtración de los riegos como para su drenaje en caso de saturación del medio.

Un óptimo grado de aireación en el residuo es fundamental, ya que las lombrices requieren concentraciones de oxígeno comprendidas entre 55 y 65% (Edwards & Bohlen, 1996; Fernández, 2011).

Si el residuo no tiene una estructura adecuada, debe ser acondicionado mediante trituración o mezcla con otros residuos que mejore estas características. (Nogales *et al.*, 2014)

- **Aireación**

El sustrato orgánico debe tener unas condiciones de aireación óptimas para el desarrollo de las lombrices y para el buen funcionamiento del proceso de vermicompostaje. Este parámetro depende de las condiciones físicas del propio medio, aunque las lombrices con su propio desplazamiento a través de galerías y actividad contribuyen a la aireación. La cantidad de oxígeno necesaria puede verse reducida por un exceso de agua o por la compactación del material debido a una estructura demasiado densa o por un exceso de peso. (Nogales *et al.*, 2014)

- **Temperatura**

Los sistemas de vermicompostaje deben llevarse a cabo a temperaturas comprendidas entre 10 y 35°C. *Eisenia fetida* y *E. andrei* se desarrollan óptimamente a 25°C, aunque su carácter epígeo le permite sobrevivir entre los 0 y 35°C (Domínguez, 2004).

- **pH**

Las lombrices tiene un amplio rango de tolerancia al pH, (Tabla 6) pero si los valores del pH estan próximos al óptimo para la especie estas se reproducirán y crecerán más rápidamente. (Edwards & Bohlen, 1996; Nogales *et al.*, 2008)

- **Contenido de carbono y nitrógeno**

Al igual que otros parámetros, las lombrices tienen un amplio rango de tolerancia a la relación C/N, pero su desarrollo es óptimo cuando se acerca a ciertos valores (Tabla 6). En estos casos, la mezcla de dos residuos con relaciones C/N complementarias permite que el substrato orgánico resultante sea más óptimo para el desarrollo de las lombrices, respecto a cada uno de los residuos por separado (Nogales *et al.*, 2014).

- **Concentración de sales**

El contenido en sales de los residuos orgánicos en los que se desarrollan las lombrices durante el vermicompostaje puede desequilibrar la composición iónica de los fluidos internos de esos oligoquetos ya que las lombrices tienen una baja capacidad de osmorregular las sales que absorben con el agua a través de su piel. Por esta razón, una elevada concentración de sales en el residuo orgánico puede impedir a que éste sea procesado por las lombrices. En caso de *E. fetida* y *E. andrei*, residuo orgánicos con valores de conductividad eléctrica superiores a 8 dS m⁻¹ tendrían un contenido en sales letal para estas lombrices (Edwards, 1988). En zonas con alta disponibilidad de agua dulce, el lavado previo de los residuos con alta salinidad podría ser usado una técnica de acondicionamiento para reducir su contenido en sales hasta un nivel tolerable por las lombrices, aunque esto elevaría el coste del proceso (Nogales *et al.*, 2008).

- **Concentración de amoniaco y amonio**

Altos niveles de amoniaco, o de su forma protonada, el ión amonio, contenidos en el residuo resultan extremadamente tóxicos para la mayoría de especies de lombrices. Concretamente en el caso de lombrices de la especie *E. fetida* o *E. andrei*, niveles de amoniaco y amonio por encima de 1 o 0.5 mg g⁻¹ de sustrato, respectivamente, se consideran tóxicos para estas lombrices (Edwards, 1988). En este caso, los residuos pueden ser acondicionados, saturándolos de agua y dejándolos airear durante varios días para facilitar la volatilización de su contenido en amoniaco (Elvira *et al.*, 1996; Fernández, 2011)).

Tabla 7. Ventajas e inconvenientes de diferentes estiércoles para su uso en procesos de vermicompostaje (Munroe, 2004).

Tipo de estiércol	Ventajas	Inconvenientes
Vacuno	Alimento natural, nutricionalmente bien balanceado para las lombrices, no necesita preacondicionamiento.	A veces, presencia de semillas lo cual exige precompostaje.
Ovino, caprino	Alimento nutricionalmente bien equilibrado para las lombrices.	Requiere precompostaje si hay semillas de malas hierbas. En ocasiones el tamaño pequeño de partículas obliga a su mezcla con otros residuos con mayor tamaño de partícula.
Porcino	Alimento bien equilibrado para las lombrices	Por lo general, en forma líquida, por lo que debe ser secado o utilizado conjuntamente con grandes cantidades de residuos orgánicos esgstructurantes.
Gallinaza, estiércol aviar	Elevada concentración de N, relativamente bien equilibrado para las lombrices.	Su elevado contenido proteico aconseja su mezcla con residuos orgánicos de alta relación C/N.
Equino	Alimento nutricionalmente bien balanceado, excelente para vermicompostaje.	Requiere precompostaje si hay semillas de malas hierbas.
Cunicular o de conejo	Elevado contenido en N, relativamente bien equilibrado para las lombrices.	En ocasiones su elevado contenido en amonio exige su lavado previo.

- **Concentración de sustancias o elementos tóxicos**

En ocasiones el residuo orgánico a vermicompostar puede incluir elementos o sustancias, que aún en pequeñas cantidades son nocivas para el desarrollo de las lombrices como por ejemplo son los metales pesados, fenoles, plaguicidas, etc. Esas sustancias pueden provocar alteraciones en el metabolismo de las lombrices, afectando al crecimiento, desarrollo sexual, producción de cápsulas e incluso a la supervivencia de éstas (Fernandez, 2011; Nogales *et al.*, 2014).

Una pequeña cantidad de los metales ingeridos por las mismas puede incorporarse a los tejidos a través de la absorción intestinal (Fleming & Richards, 1982), y si ésta va a ser utilizada como proteína animal o como complemento a piensos de animales es conveniente regular el contenido de metales presentes en los residuos a vermicompostar. Además, la mayoría de estos metales pasan de nuevo al medio por las deyecciones de la lombriz, lo cual afectaría negativamente a la calidad de los vermicomposts obtenidos (Elvira *et al.*, 1995; Fernandez, 2011; Suthar & Singh, 2009).

Los plaguicidas contenidos en algunos residuos orgánicos pueden ser, dependiendo de su composición, fácilmente acumulados por las lombrices, lo que afecta a su supervivencia (Yasmin & D'Souza, 2010), por lo que su presencia es un factor que puede limitar el desarrollo óptimo del proceso de vermicompostaje (Fernandez, 2011; Nogales *et al.*, 2014).

- **Actividad biológica**

El agrupamiento inicial de ciertos residuos y su humectación para conseguir un contenido óptimo en agua para las lombrices puede generar una intensa proliferación microbiana, debido principalmente al alto contenido en nutrientes y en microorganismos en el residuo orgánico, lo cual conlleva una intensa actividad biológica en el residuo que inicia su degradación de forma incontrolada liberando sustancias perjudiciales para las lombrices e incluso originado un autocalentamiento excesivo del residuo (Domínguez, 2004). En este caso, el residuo debe ser precompostado inicialmente de forma que la inoculación de las lombrices debe realizarse una vez que esta fase inicial de activación e intensa degradación biológica del residuo haya concluido. (Fernandez, 2011)

3.5.4. Monitorización de un proceso de vermicompostaje

La eficacia del vermicompostaje para la estabilización de residuos orgánicos está condicionada al desarrollo idóneo de la población de lombrices durante el proceso, por lo que la importancia del controlar y monitorizar los factores que se exponen a continuación ha sido descrita en importantes estudios sobre el reciclaje de diferentes residuos orgánicos mediante el vermicompostaje (Martínez *et al.*, 2003; Nogales *et al.*, 1995, 2008, 2014).

- **Alimentación**

La cantidad de residuo usada en cada tipo del sistema de vermicompostaje debe ser la suficiente para permitir el desarrollo de la población de lombrices durante el proceso. En procesos de vermicompostaje de alimentación continua, donde el residuo se añade periódicamente, la cantidad del mismo debe ser adecuada para permitir una óptima tasa de crecimiento y reproducción de las lombrices, pero sin llegar a producir un exceso de nutrientes en el substrato donde se desarrollan las lombrices, ya que esto podría desencadenar una intensa actividad microbiana que afectaría negativamente a las lombrices. (Fernandez, 2011; Nogales *et al.*, 2014)

- **Dinámica de la población de lombrices**

Cuando la densidad de lombrices es alta, estas entran en competencia, lo que hace que se ralentice el proceso. El control de la densidad de lombrices es muy importante durante la etapa de aclimatación, ya que un descenso significativo del número de lombrices nos indicaría que el alimento no es apto para desarrollar el proceso de vermicompostaje. El aumento del tamaño de las lombrices y su tasa de crecimiento nos indica si el alimento tiene las suficientes cualidades nutritivas para las mismas, en el caso de que las lombrices disminuyan de tamaño nos indica que el poder nutritivo es bajo, aunque en el caso de que las lombrices hayan pasado su proceso de aclimatación, nos indicaría que el alimento se encuentra agotado.

Por otro lado, la determinación de la biomasa es importante para controlar la estrategia que deseamos aplicar en el sistema de vermicompostaje. Si lo que se precisa es altos rendimientos en la degradación del residuo para producir vermicompost, se necesitan valores de biomasa altos pero con muchos individuos pequeños. Si interesa producir proteína o lombrices para cebo, se precisa un cultivo con pocos individuos que puedan alcanzar el mayor tamaño posible. (Nogales *et al.*, 2014)

- **Madurez sexual, tasa de reproducción y fertilidad de las lombrices**

El tamaño de las lombrices cuando alcanzan su madurez sexual durante el proceso de vermicompostaje está íntimamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes, los factores ambientales, el ciclo biológico de la especie y la densidad de población. De esta manera, conocer dentro de la población el porcentaje de individuos clitelados (sexualmente maduros), preclitelados inmaduros y juveniles nos ofrece una información directa sobre la viabilidad del residuo para el vermicompostaje (residuos inadecuados no permiten la maduración sexual de las lombrices), así como el estado de degradación del residuo (cuando el residuo se ha agotado por las lombrices estas pierden su clitelo). Además, el número de cápsulas por día o semana que se producen durante el proceso de vermicompostaje y el número de individuos que emergen en la eclosión de los mismos, permite estimar el potencial de la lombriz para vermicompostar el residuo. (Fernandez, 2011; Nogales *et al.*, 2014)

- **Predadores de las lombrices**

La posible presencia de ratones, aves y topos debe ser evitada durante el proceso de vermicompostaje, ya que éstos se alimentan de lombrices y disminuirán la población de las mismas.

Para evitar la depredación sobre las lombrices nos podemos ayudar de plásticos, mallas, o cualquier otro material que evite la entrada de animales en las camas.

Las hormigas, ácaros, tijeretas, ciempiés, etc., son más difíciles de controlar, y pueden ser una amenaza para las lombrices más pequeñas, ocasionando daños considerables. Por lo general estos depredadores se suelen controlar manteniendo la humedad del sustrato por encima del 80% y un pH superior a 7. (Fernandez, 2011; Nogales *et al.*, 2014)

- **Controles físico-químicos del residuo orgánico**

La humedad óptima del residuo que está siendo procesado debe mantenerse constante durante el vermicompostaje, utilizando a riegos en función de las necesidades del medio. Para evitar problemas por exceso de humedad, es conveniente dotar las camas de sistemas de drenaje o de puntos por los que evacuar el agua drenada.

La temperatura durante el vermicompostaje es de vital importancia para las lombrices puesto que afecta a desarrollo de las lombrices, condicionando la tasa de crecimiento y reproducción de la población de lombrices, debido a la influencia de la temperatura sobre la tasa metabólica de las lombrices (Edwards & Bohlen, 1996). Por lo tanto, para conseguir una mayor eficacia en proceso, la temperatura debe estar lo más próximo posible a los óptimos de cada especie, para lo que debemos acondicionar las camas para evitar pérdidas de temperatura en periodos fríos, como evitar el aumento excesivo de esta en periodos cálidos. En este último caso, los riegos sirven de ayuda para bajar la temperatura de la cama (Fernandez, 2011; Nogales *et al.*, 2014)

Las lombrices son fotofóbicas y no se desarrollarán en la superficie del residuo si este se encuentra iluminado (Edwards & Bohlen, 1996). Por lo tanto el vermicompostaje llevado a cabo bajo condiciones de oscuridad, permite que la biodegradación del residuo sea más eficiente. En procesos de vermicompostaje al aire libre la utilización de distintos tipos de cubierta, por lo tanto es conveniente cubrir las camas para evitar la incidencia de la luz solar directamente sobre estas (Fernandez, 2011; Nogales *et al.*, 2014).

Tabla 8. Parámetros aconsejables para monitorizar durante un proceso de vermicompostaje incluyendo su frecuencia de control de la información que aportan al proceso (Nogales, *et al.*, 2014)

Parámetro	Frecuencia de control	Rango óptimo	Información
Humedad	Diaria	Entre 70-90%	Relacionado con la respiración de las lombrices. Si es menor, regar; si es mayor drenar
Temperatura	Diaria	18-28°C (para <i>E. fetida</i> o <i>E. andrei</i>)	Los sistemas a escala industrial generan más calor, teniendo más dificultad para disiparlo. Si la temperatura sobrepasa 35°C se aconseja añadir agua o reducir la cantidad de residuo introducida.
Aireación	Diaria	Entre 55-65%	Depende de las condiciones físicas del residuo, aunque la acción de las lombrices favorece la aireación. El nivel de O ₂ puede disminuir por exceso de agua o por compactación del material.
pH	Semanal	Entre 7-8.5	Es recomendable mantenerse por encima de 7 para controlar depredadores y plagas.
Densidad de población	Semanal	1m ² (20000-30000 lombrices)	Alimento abundante y condiciones controladas provocan su autorregulación, estabilizándose la densidad de población.
Madurez	Semanal	Depende de la especie (60% juveniles, 40% adultas)	La proporción de individuos adultos y juveniles indica el estado de salud de su población.
Tasa de reproducción y fertilidad	Quincenal	Depende de la especie (> 500 cápsulas, 70% eclosión)	Indica el potencial para fundar nuevas unidades a partir de ese material.

3.5.5. Microorganismos patógenos

Uno de los mayores problemas que pueda presentar el vermicompostaje es su efectividad para reducir patógenos humanos, ya que a diferencia del compostaje, el proceso no tiene fase termófila (50-70°C), la cual se ha demostrado muy eficaz para la eliminación de esos microorganismos. Sin embargo un considerable número de estudios, realizados a diferentes escalas y en diferentes sistemas han puesto de manifiesto la efectividad del proceso para reducir, y en la mayoría de los casos eliminar, coliformes fecales, salmonela, virus entéricos y huevos de helmintos (Eastman, 1999, 2001; Monroy *et al.*, 2009; Rodríguez Canché *et al.*, 2010). Aunque los mecanismos por los que los patógenos humanos son reducidos o eliminados durante el proceso de vermicompostaje aún no son bien conocidos y ello constituye un reto científico a desarrollar en los próximos años. (Nogales, *et al.*, 2014)

3.5.6. Sistema de vermicompostaje

Según la forma en la que los residuos son procesados por las lombrices se pueden distinguir entre los sistemas de vermicompostaje tradicionales y sistemas de vermicompostaje con alimentación continua o flujo continuo. (Fernandez, 2011; Garg y col., 2008)

3.5.6.1. Sistema de vermicompostaje tradicional o de alimentación discontinua

En estos sistemas el residuo orgánico es sembrado con lombrices y su transformación en humus se lleva a cabo sin sucesivas aportaciones de residuo, de manera que una vez ésta termina, todo el material vermicompostado es retirado, separando las lombrices. Estos sistemas pueden ser los siguientes:

- Literas
- Contenedores, cajas, receptáculos o bastidores

Nos centraremos en el sistema de literas de alimentación discontinua, ya que es el más adecuado para el volumen de estiércol a tratar, en la explotación objeto de estudio.

- **Sistema de literas, hileras, camas, canteros o camellones**

Es el sistema de vermicompostaje más utilizado debido a su menor coste de mantenimiento. En este sistema el residuo orgánico se dispone en espacios rectangulares de diferente longitud, que en general se encuentran delimitados por maderas, ladrillos, bloques de cemento o cualquier elemento que sirva de contención para evitar el posible escape de las lombrices del residuo, también es posible operar sin colocar las delimitaciones y el residuo es simplemente acumulado y extendido en forma de hilera. Es aconsejable que el residuo se disponga bajo cubierta para favorecer el sombreado y evitar en lo posible la entrada de agua de lluvia. Si no es posible usar cubierta, las hileras deben estar orientadas de norte a sur para reducir la incidencia del sol, también hay que tener en cuenta la dirección del viento predominante y la pendiente del terreno. Estas prácticas facilitaran el trabajo y proporcionaran comodidad a las lombrices. (Nogales *et al.*, 2014)

El largo y ancho de las literas depende de la escala a la que se realice el vermicompostaje (en sistemas comerciales entre 1.2-1.5 m de ancho y entre 20 y 60 m de largo), dejando una distancia entre las literas entre 3-4 metros., mientras su espesor suele ser como máximo de 50 cm, ya que una gran cantidad de residuo apilado puede generar calor y además de compactar el material impidiendo el movimiento de la lombriz en él. Una vez formada la litera con el residuo previamente acondicionado según los requerimientos de las lombrices, éstas se introducen en el residuo, usualmente esparciéndolas uniformemente sobre toda su superficie. Otra opción es disponer el residuo entre dos cordones de material orgánico previamente vermicompostado y con una alta densidad de lombrices, de forma que las lombrices vayan introduciéndose poco a poco en el residuo fresco desde los cordones iniciales, donde el material se encuentra agotado. Una vez que la densidad de lombrices alcanza el límite poblacional soportado por el residuo contenido en la litera y la reproducción se detienen, las lombrices deben ser separadas del residuo. Esto se puede conseguir añadiendo una nueva litera adyacente con nuevo residuo fresco junto a la litera ya

procesada. De este modo, las lombrices se desplazan a la nueva litera en busca de nuevo alimento, mientras que el residuo ya procesado por la lombriz termina de estabilizarse durante la fase final de maduración. Otra manera de separar las lombrices, cuando la degradación del residuo ha finalizado, consiste en cubrir la litera con una malla de diámetro apropiado que permita el paso de la lombriz, disponiendo sobre ella una capa de nuevo residuo fresco. Así, las lombrices ascienden al nuevo residuo y pueden ser retiradas del antiguo con ayuda de la malla. (Fernandez, 2011; Nogales *et al.*, 2014)

Aunque este método es más rápido, presenta el inconveniente que la operación debe repetirse varias veces con objeto de retirar la mayor parte de la población de lombrices del residuo ya procesado (Fernandez, 2011; Nogales *et al.*, 2014).

3.5.6.2. Procesos a escala industrial

Estos procesos tienen como finalidad la obtención y comercialización del vermicompost. En general estas unidades poseen en explotación más de 500 m² de literas de cultivo directo. Cuando una unidad alcanza el límite de ampliación de literas (en las que se incorporan las lombrices que se van generando), se presenta lo que se conoce como sobreexplotación de estos animales. En este momento aparece la lombriz como un nuevo producto para su comercialización que puede ser en vivo, o previa transformación en harina de lombriz. A esta escala, por lo general, se requiere una mecanización del proceso, siendo necesario un diseño de campo de forma que se cuente con las siguientes áreas (Nogales *et al.*, 2014):

- a) Área de acondicionamiento: Zona donde se procede al acondicionamiento de los residuos orgánicos que posteriormente serán empleados por las lombrices.
- b) Área de literas: Estas literas deben tener un ancho y un largo que permita la mecanización de los procesos de alimentación, riego y recogida del vermicompost.

c) Área de cría: Esta área constituye la reserva de lombrices en el caso de que algún error de manejo del proceso provoque la muerte de los ejemplares ubicados en las literas.

d) Área de almacenamiento: Zona donde el vermicompost es trasladado tras ser recogido. Es recomendable que sea un área ventilada y protegida de la lluvia. Bajo estas condiciones se reduce la humedad del vermicompost a un 30% mediante el secado al aire y, posteriormente, se tamiza por diferentes medidas dependiendo del objetivo de su empleo, envasándose en caso de ser necesario.

3.5.7. Productos finales del vermicompostaje

El vermicompost, en sus diferentes acepciones, es definido como el producto final resultante de un proceso de vermicompostaje, presentando unas condiciones físicas óptimas, un contenido variable de materia orgánica parcialmente humificada, contenidos variables de nutrientes y sustancias fitorreguladoras, y que puede ser almacenado sin posteriores tratamientos ni alteraciones.

Según la legislación vigente el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes modificado por Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre de la legislación de España sobre productos fertilizantes, el vermicompost, se incluye en el grupo 6 “Enmiendas Orgánicas”, es un producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas. Los contenidos mínimos en principios activos y nutrientes exigibles para el vermicompost son los siguientes: materia orgánica total 30%; humedad máxima 40%; C/N<20; y el 90% de las partículas deben pasar por una malla de 25 mm. La composición de los vermicompost es variable, dependiendo del tipo de residuo orgánico empleado como material de partida

Los vermicompost obtenidos han sido tradicionalmente empleados en la agricultura, como enmiendas, abonos o fertilizantes orgánicos de los suelos, así como sustratos de cultivo bajo cubierta (Benítez *et al.* 2000b). Es conocido que los efectos positivos que ocasionan sobre la fertilidad física, química y biológica del suelo, y sobre

los rendimientos de la cosecha de los cultivos, son similares e incluso superiores a los del compost, pero en los últimos años ha suscitado un gran interés científico el empleo de vermicompost para otros fines distintos de los tradicionales. Entre las capacidades observadas, destacan las siguientes:

a) capacidad para reducir hongos patogénicos que desarrollan podredumbre y necrosis radicular de plantas cultivadas (Nogales *et al.*, 2014; Lorite *et al.* 2005)

b) capacidad para modificar la extractabilidad de metales pesados en suelos contaminados y residuos mineros, evitando su transferencia a plantas y acuíferos subterráneos (Nogales & Benítez 2006; Nogales *et al.*, 2014)

c) capacidad para modificar el comportamiento (adsorción y degradación) de plaguicidas en suelos (Fernández-Bayo *et al.* 2006), d) capacidad para ser empleado como bioadsorbente de plaguicidas (Romero *et al.* 2006a), e) capacidad para regenerar suelos degradados (Benítez *et al.* 2004; Nogales *et al.*, 2014)

3.5.7.1. Lombrices

Como resultado del proceso de vermicompostaje se producen periódicamente excedentes de lombrices. Estas pueden constituir una fuente adicional de ingresos en estos procesos, ya que vivas o transformadas en harinas, pueden ser empleadas para alimentación animal. El agua es el principal constituyente de la lombriz (alrededor del 85-90% del peso total), el resto está constituido mayoritariamente por proteínas (70-82% peso seco), así como carbohidratos (7-10% peso seco), grasas (8-20% peso seco) y elementos minerales (2-3% peso seco). La proteína de lombriz contiene todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran bien equilibrados y a niveles superiores a los registrados en las proteínas de vacuno o pescado (Edwards & Bohlen 1996). La harina de lombriz, que tiene un alto valor proteico, es empleada en el ámbito industrial en la fabricación de piensos para alimentación de vacas, cerdos, gallinas, etc. Se comprobó que los piensos enriquecidos con harina de lombriz alcanzan mejores resultados en la alimentación animal que los equilibrados con otras proteínas, reduciéndose los costes de producción entre un 20 y un 40%. (Nogales *et al.*, 2014)

Además hay que indicar que el desarrollo de las técnicas bioquímicas y farmacológicas en los últimos años ha permitido la detección de diferentes compuestos orgánicos bioactivos en la proteína y en líquido celomático de las lombrices, los cuales poseen relevantes propiedades terapéuticas por presentar actividades antipirética, antiespasmódica, desintoxicante, diurética, antihipertensiva, antihistamínica, antiasmática, espermicida, antioxidante, antibiótica, anticancerígena, antiulcerosa o antiinflamatoria (Cooper, 2005; Nogales *et al.*, 2014).

3.5.7.2. Té o extractos líquidos de vermicomposts sólidos

El té de vermicompost se define como el extracto acuoso del vermicompost en el cual los microorganismos, materia orgánica y nutrientes son transferidos desde el material sólido a una solución líquida mediante un proceso de extracción, con o sin aire, que se lleva a cabo a temperatura ambiente (Scheuerell and Mahaffee, 2002). Son productos líquidos de un color marrón, caracterizados por contener concentraciones variables, aunque elevadas, de microorganismos, nutrientes vegetales solubles, ácidos húmicos y fúlvicos, y sustancias orgánicas bioactivas. Las características químicas y biológicas de los diferentes tés de vermicomposts varían dependiendo de las características del vermicompost particular usado, así como, del sistema y proceso de elaboración del producto. La aplicación de los tés de vermicompost, por vía foliar o al suelo, mejora los rendimientos de los cultivos agrícolas, favoreciendo la actividad microbiana del suelo (Pant y col. 2009, 2011). Además, poseen un elevado potencial, superior incluso al de los vermicomposts sólidos, para reducir enfermedades foliares y radicales de las plantas que son causadas por hongos fitopatógenos (Edwards y col., 2006; Nogales *et al.*, 2014).

3.5.7.3. Extractos húmicos de vermicomposts sólidos

Son los productos líquidos obtenidos por tratamiento o procesado de los vermicompost mediante extracción con solución alcalina (preferentemente hidróxido potásico) y, opcionalmente precipitación de los ácidos húmicos en medio ácido. Son utilizados en agricultura, tanto convencional como biológica o integrada, así como en sustratos y en hidroponía (Eyheraguibel *et al.*, 2008; Nogales *et al.*, 2014).

3.5.7.4. Lixiviados del vermicompostaje

Son los líquidos recogidos durante el proceso de vermicompostaje y se caracterizan por una conductividad moderada, y concentraciones elevadas de K y B. A diferencia de los téis de vermicompost contienen una escasa carga microbiana en comparación con la que contienen los téis de vermicomposts. Suelen utilizarse en agricultura como fertirrigantes o como soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos (Benítez y col., 1996; Gutierrez-Miceli y col., 2011; Nogales *et al.*, 2014).



3.6. Características del producto final

El producto final obtenido está estrechamente relacionado con las características del residuo orgánico utilizado, así como del procedimiento seguido durante en el proceso de vermicompostaje, en el caso del estiércol de conejo, después de un proceso de precompostaje de 21 días, y un periodo entre la inoculación y el desarrollo de las lombrices en el mismo de 8 semanas (Soriano, M.D., Molina, M.J., Llinares, J. 2012). La analítica obtenida fue la siguiente:

Tabla 9. Propiedades químicas de diferentes vermicompost. (Soriano, M.D., Molina, M.J., Llinares, J. 2012)

Parámetro	Vermicompost estiércol de conejo
% Humedad	42
pH	7,8
CE dS/m	1,95
N g/kg	25
P ₂ O ₅ g/kg	4,3
Cu mg/kg	39
Zn mg/kg	145
Ni mg/kg	0,8
Cd mg/kg	0,1
C _{org} g/kg	288
C/N	15
CIC cmol/kg	143
% AH	2,5
%AF	1,5
AH/AF	1,7
% Humificación	14

De acuerdo con el estudio de Soriano, 2012, el vermicompost obtenido estaría clasificado según el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, desarrollado en el siguiente punto, dentro de la Clase A, cuyos parámetros de clasificación se exponen en la tabla 10 del presente estudio.

3.7. Estudio Legal

El **Real Decreto 1547/2004 por el que se establecen las normas de ordenación de las explotaciones cunícolas**, indica que éstas, para la gestión de los estiércoles deberán disponer de fosa o estercolero impermeabilizado natural o artificialmente que eviten el riesgo de filtración y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, asegurando la recogida de lixiviados y evitando los arrastres por agua de lluvia, con capacidad suficiente para permitir su gestión adecuada.

Según la legislación vigente el **Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes modificado por Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre de la legislación de España sobre productos fertilizantes**, el vermicompost, se incluye en el grupo 6 “Enmiendas Orgánicas”, es un producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas.

En dicho Real Decreto se define **enmienda orgánica** como enmienda procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizada fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar también sus propiedades o actividad química o biológica, cuyos tipos se incluyen en el grupo 6 del anexo I.

Considerándose **residuo orgánico biodegradable**, el residuo o subproducto de origen vegetal o animal utilizado como materia prima, cuya descripción se incluye en el anexo IV del Real Decreto 506/2013.

En la explotación objeto de estudio partimos de **estiércol** definido por el Real Decreto como, excremento u orina de animales de granja o aves, con o sin cama, sin transformar o transformado, de acuerdo con los procesos previstos en el Reglamento (CE) n.º 1069/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales, y productos derivados, no destinados al consumo humano.

Nuestra intención es crear un fertilizante registrado clase A (Tabla 10), por lo que se considerará a la explotación fabricante ya que registrara el producto mediante la inscripción en el registro de fertilizantes.

- “Fabricante: persona física o jurídica responsable de la puesta en el mercado de un producto fertilizante; en particular, un productor, importador o envasador que trabaje por cuenta propia, así como cualquier distribuidor u otra persona que modifique las características de un producto fertilizante, su envasado o etiquetado, se considerará fabricante. Sin embargo, un distribuidor que no modifique dichas características no se considerará fabricante”. (Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes)
- “Inscripción: acto administrativo necesario para que ciertos productos fertilizantes específicos puedan ser puestos en el mercado y empleados en agricultura y jardinería; según se establece en el capítulo V”. (Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes)
- **Enmienda orgánica Vermicompost**

El Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, define la **enmienda orgánica vermicompost** como, producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas. De la misma manera recoge los parámetros a analizar, así como los valores mínimos y máximos a cumplir por el vermicompost.

Contenido mínimo en nutrientes (porcentaje en masa) Información sobre la evaluación de los nutrientes y otros requisitos

- Materia orgánica total: 30%
- Humedad máxima: 40%
- C/N < 20
- El 90% de las partículas pasarán por la malla de 25mm.

Otras informaciones sobre la denominación del tipo o del etiquetado

- pH
- Conductividad eléctrica
- Relación C/N
- Humedad mínima y máxima
- Se podrán añadir las denominaciones usuales en el comercio

Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse. Formas y solubilidad de los nutrientes. Otros criterios

- Materia orgánica total
- C orgánico
- N total (si supera el 1%)
- N orgánico (si supera el 1%)
- P₂ O₅ total (si supera el 1%)
- K₂ O total (si supera el 1%)
- Ácidos húmicos
- Granulometría
- Tipo o tipos de estiércoles empleados

Límite máximo de microorganismos

1. La materia prima transformada, lista para ser usada como ingrediente de abonos orgánicos de origen animal, debe ser sometida a un proceso de higienización que garantice que su carga microbiana no supera los valores máximos establecidos en el Reglamento (CE) Nº 1069/2009

2. En los productos fertilizantes de origen orgánico, se acreditará que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos:

- Salmonella: Ausente en 25 g de producto elaborado
- Escherichia coli: < 1000 número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado

Límite máximo de metales pesados

Los productos fertilizantes elaborados con materias primas de origen animal o vegetal no podrán superar el contenido de metales pesados indicado en el Cuadro siguiente, según sea su clase A, B o C.

Tabla 10. Límite máximo de metales fertilizantes orgánicos (El Real Decreto 506/2013, de 28 de junio)

Metal pesado	Límites de concentración		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0.7	2	3
Cobre	70	300	400
Niquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1.000
Mercurio	0.4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)*	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial

- **Clase A:** Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna A.
- **Clase B:** Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna B.
- **Clase C:** Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna C.

4. Análisis de viabilidad técnica

4.1. Localización.

La explotación se encuentra dentro de la provincia de Cáceres, en la parte norte de la misma, en el término municipal de Malpartida de Plasencia, en la parcela 54 del polígono 88 (Fig. 6).

En cuanto a las coordenadas geográficas, la parcela en cuestión se encuentra situada en el paralelo 39º 58' 49,99" de latitud Norte y en el meridiano 6º 3' 14,21" de longitud Oeste respecto al meridiano de Madrid. Y con coordenadas UTM, X; 751.565,00 e Y; 4.429.756,41.



Fig 6: Imagen explotación (SIGPAC)

4.2. Distribución de la explotación

La explotación cuenta con 2 naves (Fig. 7), con un total de 520 jaulas polivalentes cada una, en las cuales se lleva a cabo la maternidad y el cebo, también se cuenta con una zona en una de las naves, en la que permanecen las reproductoras únicamente en gestación y las hembras de reposición.

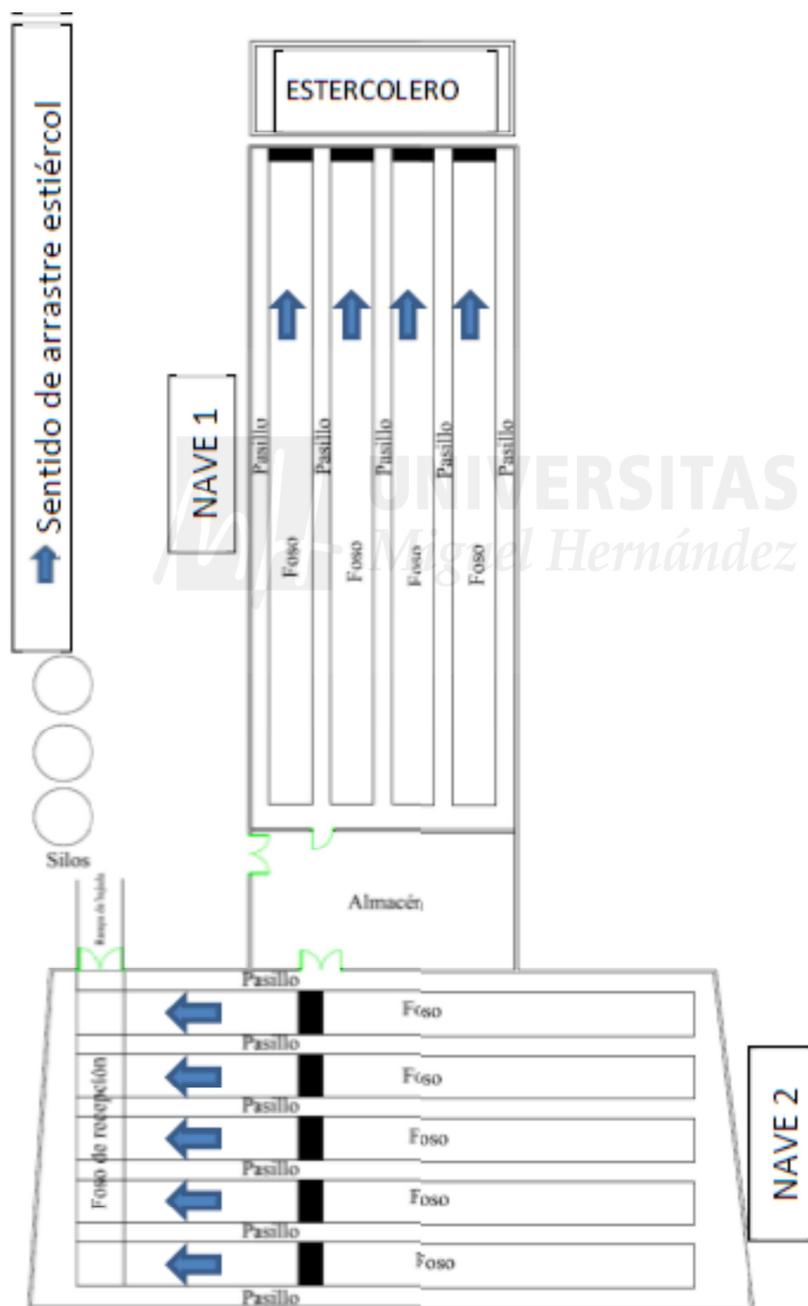


Fig 7: Croquis distribución explotación

4.3. Ciclo productivo.

4.3.1. Planificación, distribución y estancia de los animales en las naves

La explotación cuenta con 1 lote, de 700 reproductoras, las cuales se inseminan todas el mismo día. Así pues, el ciclo reproductivo es (Fig. 8):

- Periodo de 11 días después del parto hasta que se inseminan las conejas.
- Periodo de gestación, de 31 días.
- Período de lactación de 36 días.

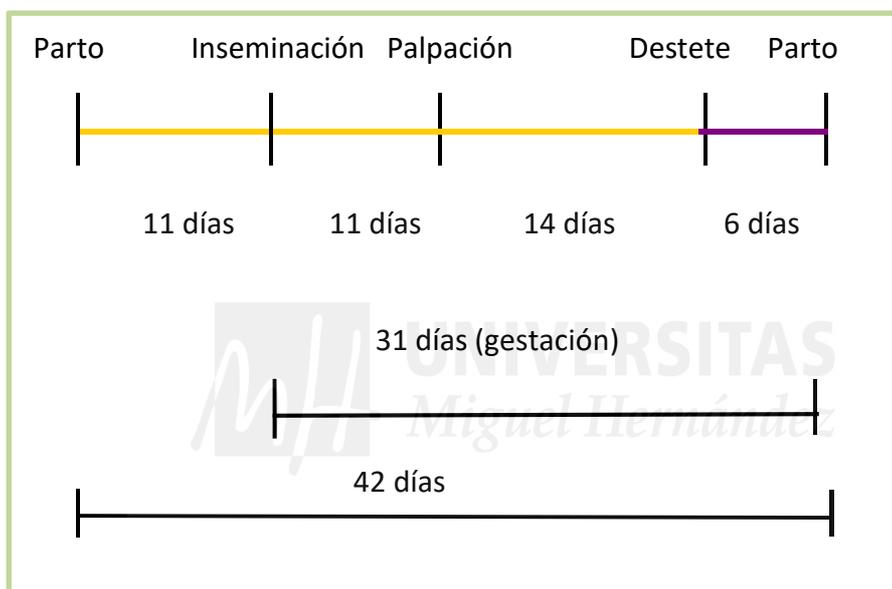


Fig 8: Ciclo reproductivo coneja

Tiempo de ocupación de las naves (Fig. 9):

- Reproductoras: 42 días:
 - Lactancia: 36 días
 - Tiempo de entrada en la nave antes del parto: 6 días.
- Cebo: 32 días (máximo).
- Limpieza: 10 días
- Total: 84 días ciclo.

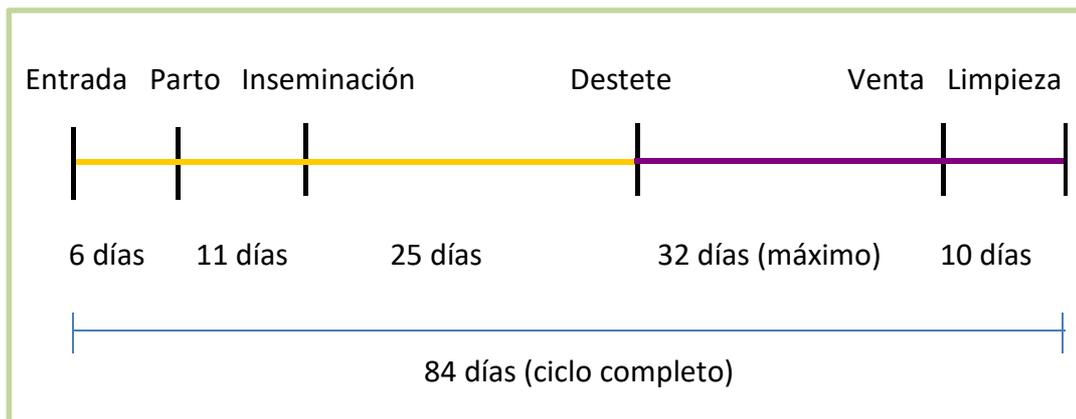


Fig 9: Ciclo ocupación nave

Por lo tanto cada 42 días tiene lugar el parto. Así pues considerando una serie de parámetros reproductivos:

- Parto sobre cubrición: 0.74 %
- Nacidos vivos por parto: 9,5
- Destetados por parto: 9
- Mortalidad durante lactancia: 5%
- Mortalidad en cebo: 10%

Si se dispone de 700 conejas a inseminar y tenemos en cuenta el índice parto sobre cubrición de las mismas parirán:

- $700 \text{ conejas/banda} \times 0,74\% = 518 \text{ partos}$
- $518 \text{ conejas/banda} \times 9,5 \text{ gazapos nacidos/coneja y parto} = 4.921 \text{ gazapos nacidos.}$

Si aplicamos la mortalidad durante la lactancia y en cebo, tendremos el número de gazapos que se obtienen por lote:

- $4.921 \text{ gazapos nacidos} \times 0,95 \text{ mort. lactancia} \times 0,9 \text{ mort. Cebo} = 4.207 \text{ gazapos.}$

- **Movimiento de los animales en la explotación.**

Como se ha señalado anteriormente, en estas naves se lleva a cabo la maternidad y el cebo, por lo tanto hay un movimiento de animales entre las naves, este movimiento se lleva a cabo en el momento del destete en el que se trasladan las madres de una nave a otra, en la cual estaba el cebo de los gazapos del parto anterior que han terminado su proceso de cebo, han sido vendidos y trasladados a matadero, estos gazapos del cebo son desalojados de las naves 10 días antes de la llegada de éstas reproductoras a la nave, en este periodo la nave es limpiada de estiércol y desinfectada, por lo tanto se realiza un vacío sanitario antes de realojar en estas naves a las reproductoras.

4.4. Sistema de alimentación

Las necesidades alimenticias de reproductoras y gazapos en cebo, se satisfacen mediante el uso de piensos granulados, que reúna las características de piensos completos, según la situación y edad de los animales.

Las materias primas utilizadas son determinadas por empresas suministradoras de piensos, la base de los mismos son cereales, leguminosas y alfalfa.

El sistema de alimentación comienza en los silos de almacenamiento de pienso, los cuales son rellenos periódicamente, según necesidades, mediante camión de reparto de piensos a granel.

El sistema de alimentación es mediante distribución mecanizada del pienso, sobre las filas de jaulas circula un carro que reparte el pienso, este se recarga mediante un sistema de distribución, formado un tubo de material plástico (PVC) y por cuyo interior gira una espiral de acero flexible accionada por un motor en su extremo, que

en su movimiento de rotación transporta el pienso. Pasando el tubo por las naves y teniendo una salida encima de cada fila, llega a los distintos carros que están sobre las jaulas.

El pienso procede de los silos exteriores. Se llena primero el carro que está sobre las jaulas, situado en la línea principal de las naves. Cuando el carro ha sido colmado se detiene el suministro de pienso, se impulsa el carro para que circule sobre las jaulas y llene los comederos, cuando el carro se vacía se le lleva al principio de la línea y se repite el proceso, así repetidamente hasta que los comederos quedan llenos.

La principal ventaja de este sistema es su sencillez y eficacia. Además, no necesita mucho tiempo debido a que esta actividad se puede realizar a la vez que se hace la revisión diaria de los animales o mientras se hace cualquier otra actividad de la explotación.

4.5. Instalación de agua de bebida

El suministro de agua potable, procede de la red municipal, a partir de la cual se abastecen dos depósitos situados en las naves, la instalación de agua para consumo de los conejos debe asegurar la disponibilidad permanente de un agua apta para el consumo y en condiciones adecuadas para ellos.

La instalación interior comienza con un sistema de filtrado, colocado tras el desagüe del depósito, un filtro de mallas es suficiente para las necesidades de la explotación.

Cada nave tiene su propio depósito, situados en altura que genera la presión suficiente para que funcione el sistema.

Los depósitos están equipados con boya de nivel constante, tapaderas, válvulas de cierre y válvulas de desagüe.

Las conducciones en el interior de la nave son de polietileno, los materiales están normalizados por los fabricantes de material ganadero, con lo cual las piezas y tubos conectan perfectamente.

Los bebederos son automáticos de varilla empujadora, en este tipo de bebederos el conejo empuja una varilla que está acoplada al cierre de un pequeño tubo de suministro. Estos bebederos están equipados con una pequeña cazoleta bajo salida del agua. Son cómodos para los animales y se producen menos pérdidas por derrame de agua que otros modelos, lo cual es beneficioso para la humedad del estiércol.

4.6. Instalaciones para la gestión del estiércol

En la instalación objeto de estudio contamos con dos naves con 520 jaulas polivalentes cada una, lo que nos da capacidad para albergar 700 plazas de producción en la explotación.

La cunicultura industrial se realiza en jaulas, con materiales metálicos galvanizados o plásticos. Una de las funciones principales de las jaulas es evitar el contacto de los animales con las deyecciones para evitar problemas sanitarios.

4.6.1. Fosas

Las jaulas se disponen sobre fosas donde caen las deyecciones de los conejos, y son almacenadas hasta la limpieza de la nave.

El ancho de las fosas es de 2 m. Los aspectos realmente variables en la construcción de fosas son su profundidad, y adaptación a diferentes sistemas de limpieza (Fig. 10).

El tipo de fosa convencional es el existente en la explotación, este tipo de fosa presenta mayores ventajas, desde los puntos de vista económicos y sanitarios.

El diseño con escasa profundidad (50 cm.), y 2 m. de anchura, al cual se adapta e sistema de limpieza por arrastre mecanizado que se utiliza con frecuencia variable, en función de las necesidades. En la figura adjunta se puede apreciar un esquema de este sistema.

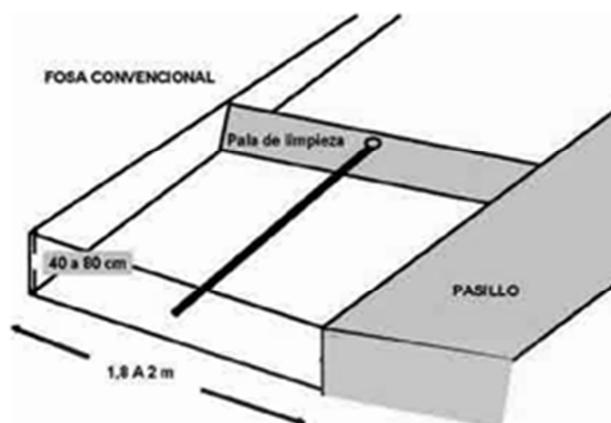


Fig. 10. Sistema de fosa convencional

La frecuencia con la que se retira el estiércol, será cada vez que se vacíe la nave, es decir, cada 84 días, teniendo como referencia los datos mencionados en el punto **4.3.1.**

4.6.2. Sistemas de extracción interior.

El sistema de extracción de la deyecciones al exterior es mediante palas portátiles, estas tienen la posibilidad de ser utilizadas en diferentes fosas, arrastradas por cables que se desmontan para trasladar el equipo. El largo de la pala debe impedir que la misma gire en el interior de la fosa y su avance se vea impedido por el atascamiento. El diseño permite que en el avance frontal arrastren las deyecciones y pueda retroceder sin arrastrar las mismas, condición necesaria poder ser colocadas en diferentes fosas cuando estas tienen su capacidad colmada.

El motor portátil está dotado de ruedas y posee un formato de carretilla o carro para poder trasladarlo de un sitio a otro. Este sistema requiere anclajes, que se ubiquen alineados al eje de la fosa, a los cuales se coloca el aparato (Fig. 11).

El equipo tiene la posibilidad de programación para realizar la limpieza por tramos en forma automática, condición necesaria para la operación en fosas con gran acumulación que excederán la capacidad de la pala.

Características del equipo de la explotación.

- Modelo portátil.
- Descripción: sistema totalmente automático, programable. Pala extensible (adaptable a todos los anchos de fosos)
- Se adapta a cualquier longitud de foso. Ajuste de carga según cantidad de estiércol.
- Características:
 - Medidas: 0,88 x 0,65 x 0,65 m.
 - Peso: 130 kg.
 - Desplazamiento tipo carretilla con brazos plegables.
 - Motor trifásico de 2 CV.
 - Reductor R50 con poleas enrolladoras de doble sentido.
 - Rapidez de recorrido aproximado 25 metros/minuto.
 - Capacidad de las poleas para 120 metros (cable de 5 mm.)



Fig. 11. Sistema de arrastre de estiércol.

4.6.3. Sistema de transporte exterior de las deyecciones

En la nave 1, las deyecciones que son extraídas por el equipo de arrastre se van depositando sobre un foso en el exterior, el cual se utilizará como estercolero e instalación de almacenamiento. Para la nave 2, las deyecciones son depositadas en un foso de recepción, desde el cual son cargadas con minicargadora y depositadas en el estercolero.

4.6.4. Instalaciones de almacenamiento y acondicionamiento del estiércol

Disponemos de un estercolero de dimensiones, situado junto a la salida del estiércol de la nave 1, tiene unas dimensiones de 10 m x 4 m y 2 m de altura, el estiércol se extrae mediante una retroexcavadora. Para evitar la entrada del agua de lluvia se cubre con lonas impermeables.

Teniendo en cuenta los datos del apartado 3.2. en el que se expone que la producción de estiércol es de $0,412 \text{ m}^3$ por plaza y año, con una densidad de $0,75 \text{ t/m}^3$. Si la explotación tiene 700 plazas totales entre maternidad y cebo.

$$V(\text{m}^3 / \text{año}) = 700 \text{ plazas} \times 0,412 \text{ m}^3 / \text{plaza} / \text{año} = 288,4 \text{ m}^3 / \text{año}$$

Considerando que para asegurar la capacidad de almacenamiento, acorde con el Real Decreto 1547/2004 por el que se establecen las normas de ordenación de las explotaciones cunícolas, el estercolero tiene que contener como mínimo la producción

de deyecciones de la explotación para un periodo de 3 meses, el volumen mínimo del mismo será de:

$$\frac{288,4m^3 / año}{4} = 72,1m^3$$

Volumen necesario de almacenamiento de estiércol para 3 meses: 72,1 m³.

En la explotación contamos con un volumen de almacenamiento de 80 m³, en un estercolero con dimensiones de 10 m. de largo, 4 m. de ancho y 2 m. de altura, por lo que es necesario para cumplir con este requisito normativo.

Cada nave se limpia después de un ciclo, es decir, cada 84 días, como hay dos naves, se hace una limpieza cada 42 días, donde se limpia alternamente una de las naves, en cada una de las limpiezas se extrae un volumen de estiércol de:

$$700 \text{ plazas} \times 0,412m^3 / año \times \frac{42 \text{ días}}{365 \text{ días}} = 33,18m^3 / nave / ciclo$$

$$33,18m^3 / nave / ciclo \times 0,75tn / m^3 = 24,89tn / nave / ciclo$$

- **Proceso de acondicionamiento**

El estiércol será precompostado durante 20-25 días, antes de ser dispuesto en los lechos o camas y de ser procesado por las lombrices, esta etapa del pretratamiento se realizará en el estercolero. (Soriano, M.D Molina, M.J, Llinares, J., 2012). El volteo necesario del material se realizará mediante máquina retroexcavadora, de una manera que el volteo sea uniforme, consiguiendo de esta manera la adecuación del estiércol para la siembra de las lombrices.

4.7. Diseño del proceso y necesidades de la zona de vermicompostaje

Tras el proceso de acondicionamiento del estiércol realizado en la zona de almacenamiento, este se transportará mediante minicargadora a la zona de vermicompostaje. La maquinaria dispondrá el estiércol en camas preparadas para la siembra de las lombrices.

- **Dimensionamiento de la zona de vermicompostaje**

La zona de vermicompostaje estará junto al estercolero, ocupará una superficie de 16 m. x 11 m. donde el estiércol se dispondrá en 2 camas de 2 m. de ancho, 16 m de longitud y 0,55 m de altura, por cada ciclo y nave, se dispondrán alternamente las camas correspondientes a la limpieza de cada una de las naves. Estas camas se alimentarán de forma discontinua, con la cantidad de estiércol generado en cada limpieza de nave.

Justificación de las dimensiones de la zona de vermicompostaje:

En cada limpieza de nave se ha calculado que se producen 33,18 m³, se desea formar las camas utilizando la minicargadora, la cual tiene una pala con un ancho de trabajo de 1,90 m., por lo que optaremos por una anchura de cama de 2 m.

Por limitaciones de la zona donde se desea ubicar la zona de vermicompostaje, se puede contar con 16 m. de longitud, con lo cual para tratar el volumen producido por limpieza, necesitaremos dos camas con una altura de 0,55 m.

Con estas medidas tendremos un volumen de cama suficiente para la cantidad de estiércol generado en cada limpieza de nave.

Debemos calcular la biomasa de lombriz necesaria para procesar los 33,18 m³. que pesan 24,89 tn, producidos en cada limpieza antes de la siguiente limpieza necesaria en la misma nave, para así tener espacio suficiente para el siguiente lote de estiércol producido en la misma.

La distancia entre lechos será de 1 metro, de manera que haya espacio suficiente para realizar los trabajos necesarios durante el proceso.

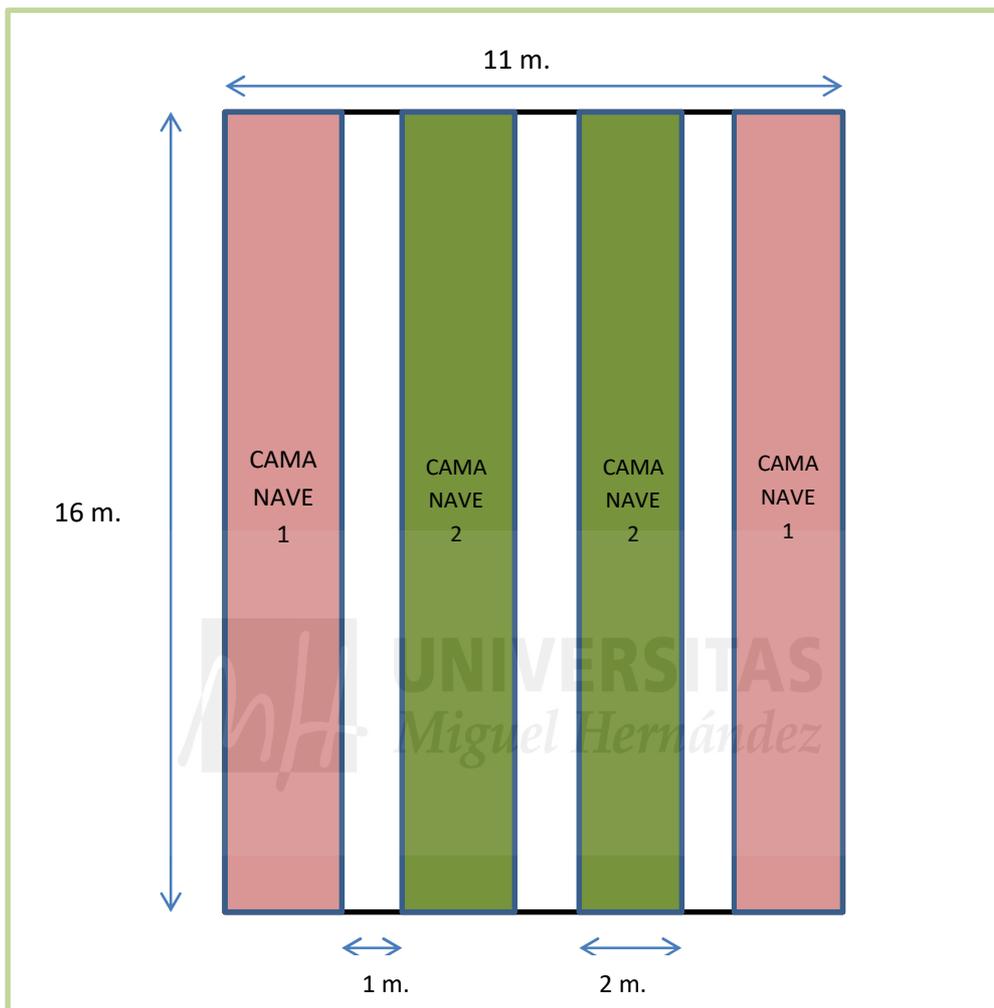


Fig 12: Disposición de lechos

- **Instalaciones de vermicompostaje**

El estiércol acondicionado se colocará sobre una lámina de material plástico que evite su contacto directo con el suelo desnudo, lo que además, facilitará la recogida posterior del humus.

Para un mayor aprovechamiento del espacio, los lechos se fabricarán con un cajeadado de tablones de madera, cubierto con la lamina de plastico.

Una vez colocado el estiércol sobre el terreno, se riega, mediante un sistema de tuberías y microaspersores, hasta que todo el sustrato quede bien empapado y alcance el 80 % de humedad necesario para el confort de las lombrices. En la explotación se dispone de un pozo, del cual se extraerá el agua del riego mediante una bomba que alimenta el sistema de riego de las camas.

Para el control de la humedad contaremos con un medidor que se utilizará diariamente en distintos puntos de la cama, de esta manera determinaremos las necesidades del riego.

En el punto más bajo de la cama, contaremos con un desagüe de drenaje para la evacuación del agua en posibles casos de saturación de la cama, este agua será recogida mediante tuberías y almacenada en un pequeño depósito para futuros riegos de las camas.

De la misma manera antes de la siembra de las lombrices mediremos pH del estiércol y temperatura.

Se controlarán los parámetros de humedad y temperatura diariamente, el pH se medirá semanalmente.

Para proporcionar a las lombrices un hábitat lo más idóneo posible, se contará con estructuras metálicas y láminas de plástico que se dispondrán sobre las camas a forma de invernadero, consiguiendo con esto aumentar la temperatura en estaciones frías, además de evitar el exceso de humedad provocado por las precipitaciones. De la misma manera también se contarán con mallas de sombreo, que se utilizarán en épocas de altas temperaturas y fuerte radiación solar, para evitar el aumento de la temperatura y evaporación del agua de las camas, de este modo se tratará de conseguir las condiciones idóneas para el desarrollo de las lombrices.

A continuación se exponen los datos meteorológicos (Fig: 13) de la zona, basados en un histórico de 30 años. A la vista de los datos aportados, el sistema de invernadero será suficiente para proporcionar a las lombrices sus condiciones óptimas de desarrollo. Un correcto manejo del invernadero, conseguirá adecuar las condiciones interiores del mismo, evitando que las lombrices sufran las grandes variaciones ambientales de la zona, aumentando de esta manera su confort, eficacia y rentabilidad.

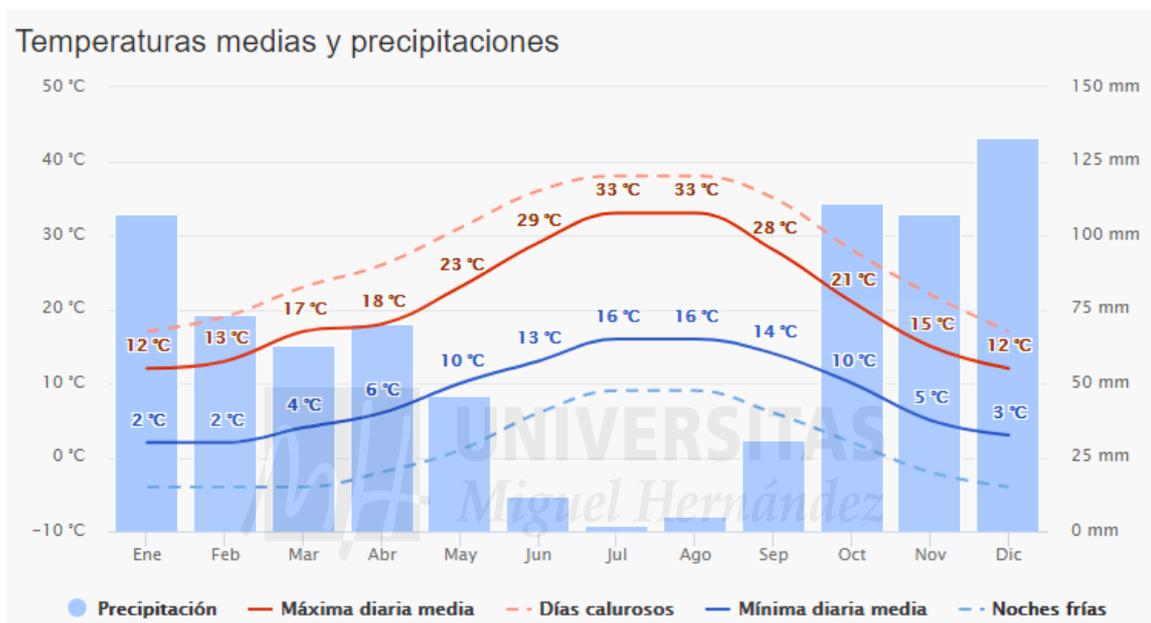


Fig 13: Datos meteorológicos (Meteoblue)

La incorporación de las lombrices se hace a la luz del día, preferentemente durante las primeras horas de la mañana, para incitar a las lombrices a introducirse con más rapidez en el sustrato.

Durante la primera semana tras la siembra, se controlará diariamente la dinámica de población del lecho con el fin de detectar posibles problemas en el alimento. El lecho se debe mantener siempre húmedo mediante los riegos, siendo estos breves para evitar encharcamientos.

- **Cantidad de biomasa de lombriz necesaria**

La especie de lombriz con la que contamos para nuestro estudio es *Eisenia ssp.*, por las ventajas, ya descritas al comienzo del estudio, que presenta la misma para la actividad.

Según Domínguez, *et al*, 2004., el peso medio de una lombriz adulta es de aproximadamente 0.55 gr.. Se acepta que cada *Eisenia ssp.* consume diariamente el alimento equivalente a su propio peso (Edwards y Bohlen, 1996)

Teniendo en cuenta que la densidad optima es de 30.000 lombrices por m² de las cuales el 40 % son adultas, tendríamos 12.000 lombrices adultas por metro cuadrado, lo que supondrían 384.000 lombrices adultas por cada cama de 2 m. x 16 m., y un peso de biomasa adulta de 211,2 kg./cama, donde procesaremos 12.445 kg de estiércol, por lo que el tiempo estimado para procesar el estiércol es de 59 días.

Si tenemos en cuenta el estiércol consumido por las lombrices jóvenes, con un peso estimado de 0,12 g./lombriz, con una número aproximado de 18.000 lombrices jóvenes/m², la cantidad de estiércol consumido por las mismas sería de 34 kg. aproximadamente por cama, lo que reduciría el proceso de vermicompostaje de la cama a 50 días.

Consideramos que el proceso de vermicompostaje en el lecho se puede dar en 55 días, intervalo de tiempo inferior al de limpieza de las naves, por lo que concretamos que necesitamos 4 camas o lechos de 2 m. x 16 m. x 0.55 m., dos para cada limpieza de ciclo correspondiente de cada nave, cada lecho o cama, necesitará 384.000 lombrices adultas o 960.000 lombrices, y la transformación del estiércol en humus será de 55 días aproximadamente.

Comenzaremos con 10 kg de lombriz adulta, para el primer ciclo, teniendo en cuenta que en un año tendríamos 1.500 kg de lombriz por cada kg inicial (Díaz, 2002), en función de estos datos, se entiende que la lombriz multiplica su población 4,3 veces cada 3 meses, en 9 meses tendríamos 795 kg de lombriz aproximadamente, por lo que

a los 9 meses, alcanzaríamos prácticamente las necesidades de 844,8 kg de biomasa de lombriz necesarios.

- **Producción de vermicompost**

Este primer ciclo se utilizará también para multiplicar la lombriz necesaria para nuestra explotación. Por lo que tendremos que desechar el estiércol del segundo al quinto ciclo de producción de la explotación, hasta alcanzar la cantidad de lombriz necesaria, es más económico esperar y criar nuestra propia lombriz que comprarla para ganar tiempo. Por este motivo se estima que el primer año la producción será un 70 % inferior.

Debido a que el ciclo de producción de la explotación es de 84 días, y el tiempo de procesado del estiércol a humus es de 55 días, tenemos tiempo suficiente entre cada ciclo de limpieza de cada nave para transformar el estiércol producido en humus.

Una vez agotado el alimento de la cama, dispondremos parte del nuevo material a vermicompostar en un extremo de la cama, las lombrices migrarán hacia el nuevo material fresco, con lo que nos quedará el humus, con las impurezas que deberán ser cribadas. En esta fase del proceso utilizaremos la minicargadora para transportar el humus que alimentará las cribas. Debido a las mermas producidas por la transformación del estiércol en humus, dispondremos de espacio suficiente en la cama para remontar el material y realizar este procedimiento

Una vez retirado el humus de la cama, y cosechada la parte excedente de las lombrices, se procederá al relleno de la cama con nuevo material, dando comienzo a un nuevo ciclo.

Para acelerar el proceso de secado del humus, antes del cribado, cubriremos las camas con la lámina de plástico sobre estructuras metálicas, a modo de invernadero, para evitar la entrada de lluvia y aumentaremos la temperatura dentro del túnel, lo que favorecerá el secado del humus.

Una vez alcanzada una humedad del 40 %, procederemos al cribado, ensacado en big-bag y pesado del humus, con lo que estará listo para su venta.

En el proceso de vermicompostaje, se producen unas mermas de peso debido a las necesidades de las lombrices, según Castillo, Quarín e Iglesias, 1999 en un estudio realizado sobre estiércol, las mermas de la masa total fueron 27,20 %, diferentes autores afirman que las excretas de la lombriz son un 60 % del alimento ingerido (Ferruzzi, 1994), se puede afirmar que el rendimiento del proceso depende de las condiciones y tipo de alimento suministrado a las lombrices, para nuestro estudio tendremos de referencia el valor más conservador del 40 % de mermas.

Por lo que la producción anual esperada de humus es de:

$$24,89 \text{tn} / \text{nave} / \text{ciclo} \times 0,60\% = 14,934 \text{tn} \text{humus} / \text{ciclo} / \text{nave}$$
$$14,934 \text{tn} \text{humus} / \text{ciclo} / \text{nave} \times 8,7 \text{ciclos} / \text{año} = 129,78 \text{tn} \text{humus} / \text{año}$$

- **Producción de lombriz**

Una vez alcanzada la densidad de lombriz optima, esta se reproduce a una velocidad de 16 veces /año, su población se duplica cada 3 meses (Ferruzzi, 1994). por lo que en nuestro caso que con una densidad optima tendremos 3.840.000 lombrices en la explotación, produciremos 61.440.000 lombrices, de diferentes estadios, el 40 % adultas con un peso 0.55 gramos por lombriz, por lo que tendríamos 13.516,80 kg de lombriz adulta, y un 60 % de juveniles con un peso entre 0 gramo y 0,24 gramos, estimaremos un peso medio para las lombrices jóvenes de 0,12 gramos, con lo que tendríamos 4.423,68 kg de lombriz joven. Con lo que tendremos un excedente de producción de lombriz de 17.940,48 kg.

5. Análisis de viabilidad económica

El supuesto desarrollado producirá 129.780 Kg/año de humus de lombriz y 17.940,48 Kg./año de lombriz viva.

Los movimientos de estiércol y humus se harán mediante máquinas retroexcavadoras y minicargadoras de alquiler, por lo que se debe tener en cuenta las horas necesaria de esta maquinaria, para cada ciclo. También será necesaria herramienta de mano para apoyar a la maquinaria en la realización de los trabajos, así como para la realización de los trabajos de pequeño volumen.

5.1. Inversión necesaria

Una vez determinado a lo largo del estudio todos los elementos a tener para comenzar con la actividad, se elabora la Tabla 11 para el cálculo de la inversión necesaria.

Tabla 11. Coste compra de materiales y herramientas

Descripción	Unidad	Precio (€)	Total (€)
Criba motorizada	1	4.000,00	4.000,00
1000 UD de lombriz adulta	10	68,00	680,00
Bomba, tuberías y microaspersores	1	1.000,00	1.000,00
Estructuras, láminas y mallas (Inver.)	4	2.560,00	2.560,00
Medidor de pH. y termómetro	1	100,00	100,00
Medidor de humedad	1	500,00	500,00
Báscula (1200mm x 1200mm)	1	460,00	460,00
Otros (carro, pala, rastrillo...)			500,00
Total			9.800,00 €

5.2. Costes de explotación

El volumen de estiércol generado en la explotación, no alcanza una cantidad suficiente como plantearse la compra de maquinaria, inversión que no haría viable la actividad, se trabajará con el alquiler puntual de la maquinaria en los momentos necesarios.

Para calcular los costes derivados de los trabajos a realizar con maquinaria alquilada se elabora la tabla 12, donde se tiene en cuenta el tiempo empleado por la maquinaria en realizar cada una de las operaciones a realizar por ciclo de producción de humus, junto con los precios por hora de la maquinaria.

Tabla 12. Coste alquiler maquinaria.

TRABAJO	Horas	Precio (€)	Total anual (€)
Volteo de estiércol	2	36	72,00
Formación de camas	2,5	36	90,00
Recogida y cribado	3	36	108,00
Total			270,00 €

Se harán 8,7 ciclos por año por lo que los coste de maquinaria de alquiler serán de $270,00 \times 8,7$ ciclos = **2.349 €/año.**

La tabla 13, se elabora para calcular los costes de la materia prima, envases para la comercialización del producto y analíticas necesarias.

Aunque el estiércol procede de la misma explotación contaremos con el valor de mercado del mismo.

Se necesitaran big-bag para el transporte y comercialización del humus, si vamos a comercializar 129.780 kg. de humus con una densidad de $0,6 \text{ kg/m}^3$, necesitaremos 215 big-bags.

Así como 4 analíticas anuales, para cumplir con los requisitos del Real Decreto 506/2013, y para el control del material de entrada y salida del proceso de vermicompostaje.

Tabla 13. Previsión de compras anual

Descripción	Unidades	Precio (€)	Total anual (€)
Residuos orgánicos	216.300	0,003	648,90
Big-bags	215	3	675
Analíticas	4	120	480
Total			1.803,90 €

5.3. Mano de Obra

En la realización de los trabajos, necesitamos un operario a media jornada, será en encargado de supervisar diariamente los parámetros ambientales de las camas, además de todo lo trabajos manuales y de asistencia a la maquinaria. El coste el mismo se estima en **10.000 €/año**.

5.4. Ingresos

Tras realizar un estudio de mercado de la zona, consistente en sondeos de compradores. Para un humus esperado de Clase A, cribado y envasado en big-bags, se estima el precio de 0,20 €/kg. en origen, se cuenta con clientes de la zona, próximos a la explotación buscando que los costes de transporte tengan la mínima repercusión en el producto en destino.

El precio de la lombriz es más subjetivo, debido a que las fluctuaciones del mismo son amplias en función del destino las mismas. Cuando el destino es como pie de cría para otras explotaciones, el precio es más elevado que cuando el destino es alimentación animal, ante la dificultad para estimar el destino de las lombrices, suponemos un precio de mercado bajo, de 0,5 €/kg, con el que asegurar la salida en el mercado de este producto.

Con los precios estimados y las producciones calculadas para el primer año y sucesivos se elabora la tabla 14, para calcular las previsiones de ingresos totales derivados de la actividad.

Tabla 14. Previsión de ventas anual

Previsión de ventas Año 1			
Descripción	Unidades	Precio (€)	Total anual (€)
Humus	38.934	0,2	7.786,80
Lombriz	0	0	0
Total			7.786,80 €
Previsión de ventas Año 2			
Descripción	Unidades	Precio (€)	Total anual (€)
Humus	129.780	0,20	25.956,00
Lombriz	17.940,48	0,5	8.970,00
Total			34.926 €

5.5. Estudio económico

Con la inversión calculada, costes e ingresos, se realiza un estudio de rentabilidad de la actividad a implantar. En la tabla 15 se exponen los resultados satisfactorios, en los que se aprecia la buena rentabilidad del tratamiento elegido para el estiércol producido.

“Estudio de viabilidad técnico-económica de valorización de estiércol mediante vermicompostaje en una explotación cunícola”

Tabla 15: Estudio económico

RESULTADOS												
VAN	136.181											
TIR	92%											
R B/I	13,90											
PAY-BACK	2,00											
		Tasa de Actualización						3,50%				
AÑOS	INGR. ORD	INGR.EXTRAORD	INGR.TOTAL	GASTOS ORD	FINANCIACIÓN	GAST. EXTRAORD.	GAST. TOTAL	INVERSIÓN	FLUJO DE CAJA	FLUJO ACTUA	SUM. F.C.AC	
0		0,00						-9.800	-9.800	-9.800,00	-9.800,00	
1	7.787		7.787	11.246			11.246		-3.459	-3.342,10	-13.142,10	
2	34.926		34.926	14.153			14.153		20.773	19.391,91	6.249,81	
3	34.926		34.926	14.153			14.153		20.773	18.736,15	24.985,96	
4	34.926		34.926	14.153			14.153		20.773	18.102,56	43.088,52	
5	34.926		34.926	14.153		4.000	18.153		16.773	14.122,50	57.211,02	
6	34.926		34.926	14.153			14.153		20.773	16.898,93	74.109,95	
7	34.926		34.926	14.153			14.153		20.773	16.327,47	90.437,42	
8	34.926		34.926	14.153			14.153		20.773	15.775,33	106.212,75	
9	34.926		34.926	14.153			14.153		20.773	15.241,87	121.454,62	
10	34.926		34.926	14.153			14.153		20.773	14.726,44	136.181,06	

A partir del estudio económico, con los datos de producción, costes e ingresos previstos, tenemos un VAN de 136.181 €, lo que hace que la actividad sea rentable

Debido a la baja inversión necesaria y a la rentabilidad de la actividad, conseguimos un PAY-BACK de dos años, lo que hace que el riesgo de la inversión disminuya debido a la rápida recuperación de la inversión.

Con los valores obtenidos se puede concluir que la inversión es rentable y de bajo riesgo, por lo que económicamente sería viable llevar a cabo la actividad en la explotación.

- **Análisis de sensibilidad**

Para estudiar el precio mínimo de venta del humus, se ha realizado un análisis económico, suponiendo que no tenemos mercado para la lombriz, y estudiando dos supuestos para el precio humus:

- a) 0,12 €/kg
- b) 0,14 €/kg.

A partir de este análisis podremos determinar el precio mínimo al que podremos vender el producto con los condicionantes de producción y costes tenidos en cuenta anteriormente.

a) SUPUESTO PRECIO DE VENTA DE HUMUS 0,12 €/t.

Tabla 16. Previsión de ventas anual precio 0.14 €/t.

Previsión de ventas Año 1			
Descripción	Unidades	Precio (€)	Total anual
Humus	38.934	0,12	4.672,08
Lombriz	0	0	0
Total			4.672,08 €
Previsión de ventas Año 2			
Descripción	Unidades	Precio (€)	Total anual
Humus	129.780	0,12	15.573,60
Lombriz	17.940,48	0	
Total			15.573,60 €

Tabla 17: Estudio económico análisis variación de precio 0.12 €/t.

RESULTADOS	
VAN	-8.936
TIR	-9%
R B/I	-0,91
PAY-BACK	11,00

AÑOS	INGR. ORD	INGR.EXTRAORD	INGR.TOTAL	Tasa de Actualización		GAST. EXTRAORD.	GAST. TOTAL	INVERSIÓN	FLUJO DE CAJA	FLUJO ACTUA	SUM.F.C.AC
				3,50%							
0		0,00						-9.800	-9.800	-9.800,00	-9.800,00
1	4.672		4.672	11.246			11.246		-6.574	-6.351,49	-16.151,49
2	15.593		15.593	14.153			14.153		1.440	1.344,16	-14.807,33
3	15.593		15.593	14.153			14.153		1.440	1.298,71	-13.508,62
4	15.593		15.593	14.153			14.153		1.440	1.254,79	-12.253,83
5	15.593		15.593	14.153		4.000	18.153		-2.560	-2.155,54	-14.409,36
6	15.593		15.593	14.153			14.153		1.440	1.171,36	-13.238,00
7	15.593		15.593	14.153			14.153		1.440	1.131,75	-12.106,26
8	15.593		15.593	14.153			14.153		1.440	1.093,48	-11.012,78
9	15.593		15.593	14.153			14.153		1.440	1.056,50	-9.956,28
10	15.593		15.593	14.153			14.153		1.440	1.020,77	-8.935,51

En este caso de los resultados mostrados en la tabla 17, la actividad no sería rentable, por lo que no sería interesante llevar a cabo el proyecto.

b) SUPUESTO PRECIO DE VENTA DE HUMUS 0,14 €/t.

Tabla 18. Previsión de ventas anual precio 0,14 €/t.

Previsión de ventas Año 1			
Descripción	Unidades	Precio (€)	Total anual (€)
Humus	38.934	0,14	5.450,76
Lombriz	0	0	0
Total			5.450,76 €
Previsión de ventas Año 2			
Descripción	Unidades	Precio (€)	Total anual (€)
Humus	129.780	0,14	18.169,20
Lombriz	17.940,48	0	0
Total			18.169,20 €

Tabla 19: Estudio económico análisis variación de precio 0,12 €/t.

RESULTADOS	
VAN	10.754
TIR	15%
R B/I	1,10
PAY-BACK	7,00

		Tasa de Actualización		3,50%							
AÑOS	INGR. ORD	INGR.EXTRAORD	INGR.TOTAL	GASTOS ORD	FINANCIACIÓN	GAST. EXTRAORD.	GAST. TOTAL	INVERSIÓN	FLUJO DE CAJA	FLUJO ACTUA	SUM. F.C.AC
0		0,00						-9.800	-9.800	-9.800,00	-9.800,00
1	5.451		5.451	11.246			11.246		-5.795	-5.599,14	-15.399,14
2	18.169		18.169	14.153			14.153		4.016	3.749,26	-11.649,88
3	18.169		18.169	14.153			14.153		4.016	3.622,47	-8.027,41
4	18.169		18.169	14.153			14.153		4.016	3.499,97	-4.527,44
5	18.169		18.169	14.153		4.000	18.153		16	13,72	-4.513,71
6	18.169		18.169	14.153			14.153		4.016	3.267,26	-1.246,45
7	18.169		18.169	14.153			14.153		4.016	3.156,78	1.910,33
8	18.169		18.169	14.153			14.153		4.016	3.050,02	4.960,35
9	18.169		18.169	14.153			14.153		4.016	2.946,88	7.907,24
10	18.169		18.169	14.153			14.153		4.016	2.847,23	10.754,47

En este caso tabla 19, si sería rentable llevar a cabo el proyecto, pero la rentabilidad de la inversión sería muy baja, por lo que en este caso tampoco sería muy interesante la inversión.

6. Conclusiones

Una vez realizado el estudio completo de las variables que influyen en la viabilidad de la actividad, podemos afirmar, que la puesta en marcha de la vermicultura en la explotación es viable, teniendo en cuenta los precios de mercado actuales de los productos obtenidos.

Desde el punto de vista técnico, el proceso de vermicultura se complementa con la producción cunícola de la explotación objeto de estudio, tanto en dimensiones existentes en la explotación como con las necesidades de producción, volúmenes de producto y operaciones distribuidas en el tiempo de la explotación.

La inversión necesaria no es elevada, debido a que por el poco volumen de producción, no hace interesante la compra de maquinaria costosa, opción que pondría en riesgo nuestra inversión. Es más rentable alquilar la maquinaria en los momentos necesarios, además con esta opción conseguimos bajar el riesgo de la inversión.

La calidad del humus de lombriz producido, unido a un sistema de envasado en big bags, nos permite centrarnos en clientes locales, con necesidades de consumo relativamente pequeñas, adecuadas a los niveles de producción de la explotación, en los cuales existen posibilidades de conseguir un mayor precio el humus producido.

Dentro de los clientes potenciales, se encuentran los floricultores, empresas de jardinería, viveros o semilleros de plantas, los cuales tienen un alto valor añadido en sus productos y demandan el humus de lombriz como un insumo esencial en sus procesos de producción.

Desde el punto de vista económico, destacar, que la rentabilidad de la inversión es muy interesante, teniendo en cuenta el tamaño de la explotación, ya que los ingresos obtenidos de esta actividad, pueden llegar a ser un porcentaje elevado de los ingresos totales de la explotación, diversificando además los productos de la misma, lo que puede llegar a hacerla más competitiva frente a posibles bajadas de ingresos derivados la venta de animales.

7. Bibliografía

Acosta- Duran C. M. Solís-Perez, O., Villegas-Torres, O. Cardoso-Vigueros, L. (2012). *Prescomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*.*

Banco de ideas de negocios ambientales sostenibles. (2014). Vermicompostaje de residuos orgánicos

Blumetto, O., Torres A. (2005) .*Instalaciones para la gestión del estiércol en granjas cunícolas industriales. Boletín de Cunicultura, 139, 7-12.*

Blumetto, O., Torres A. (2005) .*Instalaciones para la gestión del estiércol en granjas cunícolas industriales. Boletín de Cunicultura, 140, 6-16.*

Bollo, E. (1999). *Lombricultura, Una alternativa de reciclaje.* Soboc Grafic, Acuña - Quito Ecuador. 149 p.

Real Decreto 1547/2004, de 25 de junio, por el que se establecen normas de ordenación de las explotaciones cunícolas. Boletín Oficial del Estado, núm 154, de 26 de Junio 2004, pp. 23472 a 23479.

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Boletín Oficial del Estado, núm 164, de 10 de Julio 2013, pp. 51119 a 51207.

Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, num. 296, pp. 119396 a 119450.

Real Decreto 535/2017, de 26 de mayo, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, de 5 de Junio de 2017. Num. 133 pp. 45510 a 45512.

Diaz, E. (2002) *Guía de Lombricultura.* Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de La Rioja (Argentina).

De Sanzo, C. y A. Ravera. (1999). Como criar lombrices rojas californianas.

<http://www.visitweb.com/lombriz>

EDWARDS, C.A. y P.J. BOHLEN, (1996). *Biology and Ecology of Earthworms.*

London, Chapman & Hall.

Fernández Gomez M. J. (2011). *Aplicación de la tecnología del vermicompostaje para la valorización agronómica de residuos y desechos de cultivos de invernadero.* (Tesis Doctoral)

Ferruzzi, C. (1994). *Manual de Lombricultura.* Reimpresión. Ediciones Mundi-Prensa - Castello 37. Madrid. 138 p.

Hernández J., Mavarez L., Romero E., Ruíz J., Contreras C. (2003). *Altura del cantero en el comportamiento de la lombriz roja (Eisenia ssp); bajo condiciones cálidas*

MAGRAMA (2018) Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado "EL SECTOR CUNÍCOLA EN CIFRAS: Principales Indicadores Económicos". Recuperado el 10 de Agosto de 2018

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

Schuldt, M. 2006. *Lombricultura Teorica y Practica.*

Nogales, R. Romera, E., Fernandez, M. 2014. *De Residuo a Recurso. El camino hacia la sostenibilidad. 5. Vermicompostaje: Procesos productos y aplicaciones.* Ed. Cientificos Moreno, J., Moral, R., Garcia Morales, J.L., Pascual, J.A., Bernal, M.P. Ed. Mundi-Prensa.

Roca, T. (2006), Gestión de los residuos en la cunicultura. Recuperado el 20 de Agosto 2018, de <http://www.conejos-info.com/articulos/gestion-de-los-residuos-en-cunicultura>

Solivia, M. (1995) *Zootecnia.* Tomo IV Cap. XX

Soriano, M.D Molina, M.J, Llinares, J. *Tratamiento de residuos de vinazas y lodos de depuradora mediante vermicompostaje.* III Jornadas de la Red Española de Compostaje. Santiago de Compostela. 26-29 junio 2012

Prats Roseáis, J. LI (1996) *Zootecnia.* Tomo X. Cap.VI

