

# ***Utilización del proceso de vermicompostaje como post-tratamiento para la mejora de composts comerciales***

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



Curso 2021 / 2022

**ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**



Autor: Miguel Ángel Mira Urios

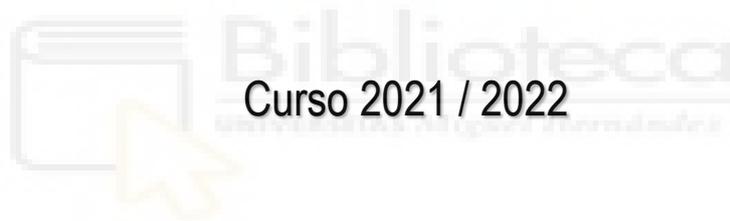
Tutores: José Antonio Sáez Tovar y Encarnación Martínez Sabater





ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

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



***Utilización del proceso de  
vermicompostaje como post-tratamiento  
para la mejora de composts comerciales***

**Miguel Ángel Mira Urios**





ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

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



Curso 2021 / 2022

***Utilización del proceso de  
vermicompostaje como post-tratamiento  
para la mejora de composts comerciales***

Vº Bº DIRECTOR

VºBº CODIRECTOR

José Antonio Sáez Tovar

Encarnación Martínez Sabater

ALUMNO

Miguel Ángel Mira Urios





## UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza al alumno **D. Miguel Angel Mira Urios**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Utilización del proceso de vermicompostaje como postratamiento para la mejora de compost comerciales”, bajo la dirección de D. Jose Antonio Sáez Tovar y D<sup>a</sup>. Encarnación Martínez Sabater, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 13 de junio de 2022

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

CONCEPCION  
|PAREDES|GIL

Firmado digitalmente por  
CONCEPCION|PAREDES|  
GIL  
Fecha: 2022.06.13  
09:41:38 +02'00'

Fdo.: Concepción Paredes Gil

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



## REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

### IDENTIFICACIONES

**Autor:** Miguel Ángel Mira Urios

**Título:** Utilización del proceso de vermicompostaje como post-tratamiento para la mejora de composts comerciales

**Title:** Use of the vermicomposting process as post-treatment to improve commercial composts

**Director/es del TFM:** José Antonio Sáez Tovar y Encarnación Martínez Sabater

**Año:** 2022

**Titulación:** Máster en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos

**Tipo de proyecto:** Trabajo Experimental

**Palabras claves:** Lombrices, compostaje, agricultura ecológica, ganadero, agroalimentario, valorización.

**Keywords:** Earthworms, composting, ecological agriculture, livestock, agroalimentary, valorization.

**Nº citas bibliográficas:** 36

**Nº de planos:** 0

**Nº de tablas:** 26

**Nº de figuras:** 13

**Nº de anexos:** 1

### RESUMEN

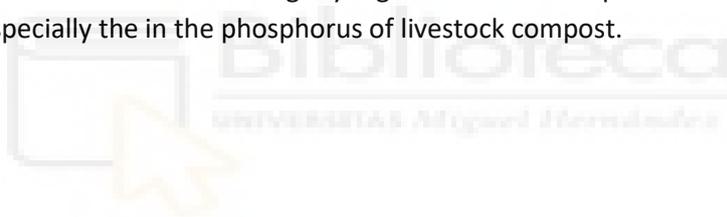
El proceso de compostaje realizado con objetivo comercial utiliza materiales originales de diversa naturaleza. Esto conlleva una gran diversidad entre las características y la calidad final de los composts obtenidos. En este trabajo se estudia la posibilidad de mejora de las características de estos composts mediante el vermicompostaje con *Eisenia fetida*. Para ello se analizan, entre otras características, la materia orgánica total, pH, conductividad eléctrica, contenido en polifenoles hidrosolubles, índice de germinación, de muestras de composts de origen ganadero, agroalimentario y mixto antes y después de ser sometidos a un post-tratamiento mediante vermicompostaje con *E.fetida* durante 30 días en el que se realiza un seguimiento de la supervivencia de la especie en los distintos materiales así como la evolución de la biomasa. *E.fetida* tuvo mayores tasas de supervivencia y ganancia de peso por individuo en los composts de procedencia ganadera, así como una mortalidad muy elevada en los composts procedentes de residuos urbanos. La actividad de las lombrices produjo disminuciones en la materia orgánica total (-16%), menores valores de carbono orgánico y C/N de 14,5. Los valores nutricionales (nitrógeno, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O) del compost con lombrices fueron algo mayores en

algunos aspectos que los de los composts sin lombrices, con una notable diferencia en el fósforo de los residuos ganaderos con lombrices.

El resumen constará de un máximo de 400 palabras, que brevemente indique el objetivo del trabajo, su diseño experimental básico, así como los principales resultados obtenidos

### **ABSTRACT**

The composting processes with commercial purpose, use different materials from a wide range of sources. That means there is a great variability between the characteristics and the final quality of those composts. In this work we studied the possibility to improve the characteristics of those composts through vermicomposting with *Eisenia fetida*. In order to achieve this objective have been analyzed, among other parameters, the total organic matter, pH, electrical conductivity, water-soluble phenolic compounds, germination index, from livestock, agroalimentary, mixed and urban composts before and after being subjected to a vermicomposting treatment involving *E.fetida* for 30 days, in which we observed the survivability of the species in the different materials. *E.fetida* has shown higher levels of survival and weight gains per individual in livestock composts and greater mortality in composts from urban wastes. The earthworm activity caused a reduction in the total organic matter (-16%), lower organic carbon levels and a C/N of 14,5. The nutritional values (nitrogen, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O) of the composts with earthworm were slightly higher than the composts without earthworms in some aspects, specially the in the phosphorus of livestock compost.





## INFORME DE EVALUACIÓN DE INVESTIGACIÓN RESPONSABLE DE 2. TFM (Trabajo Fin de Máster)

Elche, a 29 de abril del 2022

Nombre del tutor/a	Jose Antonio Sáez Tovar
Nombre del alumno/a	Miguel Ángel Mira Urios
Tipo de actividad	8. Uso de otros organismos vivos: plantas, microorganismos...
Título del 2. TFM (Trabajo Fin de Máster)	Utilización del proceso de vermicompostaje como postratamiento para la mejora de composts comerciales
Código/s GIS estancias	-
Evaluación Riesgos Laborales	Conforme condicionado
Evaluación Ética	No procede
Registro provisional	220426111156
<b>Código de Investigación Responsable</b>	<b>TFM.MGT.JAST.MÁMU.220426</b>
Caducidad	2 años

Una vez atendidas las observaciones/condiciones mencionadas en el informe adjunto del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales, en caso de que las hubiera, se considera que el presente proyecto/contrato/prestación de servicios carece de riesgos laborales significativos para las personas que participan en el mismo, ya sean de la UMH o de otras organizaciones y, por tanto, es conforme.

La necesidad de evaluación ética del trabajo titulado: **Utilización del proceso de vermicompostaje como postratamiento para la mejora de composts comerciales** ha sido realizada en base a la información aportada en el formulario online: "TFG/TFM: Solicitud Código de Investigación Responsable (COIR)" y "Condiciones de prevención de riesgos laborales" (si procede). Es importante destacar que si la información aportada en dichos formularios no es correcta este informe no tiene validez.

Por todo lo anterior, se autoriza la realización de la presente actividad.

Atentamente,

Alberto Pastor Campos  
Secretario del CEII  
Vicerrectorado de Investigación

Domingo L. Orozco Beltrán  
Presidente del CEII  
Vicerrectorado de Investigación



## Agradecimientos

Quiero agradecer a mis tutores, José Antonio Sáez Tovar y Encarnación Martínez Sabater por su inestimable ayuda en desarrollo de este trabajo. Del mismo modo, quiero dar mis más sinceros agradecimientos a los compañeros del laboratorio por enseñarme las técnicas necesarias, solucionar mis dudas y ayudarme con el desarrollo experimental y de los análisis. Me gustaría también mencionar el apoyo de Raúl Moral Herrero por permitirme realizar prácticas en el laboratorio de edafología de Orihuela y por sus consejos durante mi tiempo con ellos. Gracias a todos vosotros por vuestra paciencia, comprensión y apoyo.





# **Utilización del proceso de vermicompostaje como post-tratamiento para la mejora de composts comerciales**

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Producción de Residuos de naturaleza orgánica	5
1.1.1. Tipos de residuo	6
1.1.2. Cuantificación de residuos	7
1.2. Compostaje comercial	8
1.2.1. Características del proceso comercial	9
1.2.2. Métodos de producción de composts comerciales	9
1.2.3. Insumos y características del producto	13
1.2.4. Limitaciones del proceso	14
1.2.5. Calidad y potencial de mejora	15
1.2.6. Normativa aplicable	15
1.3. Vermicompostaje	16
1.3.1. Descripción del proceso y etapas	16
1.3.2. Condiciones del proceso	17
1.3.3. Calidad del vermicompost	17
<b>2. Objetivos</b>	<b>19</b>
<b>3. Material y métodos</b>	<b>23</b>
3.1. Diseño experimental	24
3.2. Desarrollo experimental	24
3.3. Parámetros analizados y métodos analíticos	26
3.4. Métodos Estadísticos	29
<b>4. Resultados y Discusión</b>	<b>31</b>
4.1. Punto de partida: descripción de los compost comerciales usados	33
4.2. Proceso de vermicompostaje	34
4.2.1. Supervivencia y evolución de biomasa de <i>E.fetida</i>	34
4.2.2. Evolución de parámetros clave	38
4.3. Características del producto final	46
4.3.1. Características agronómicas de los vermicomposts	46
4.3.2. Estudio económico del producto obtenido	47
<b>5. Conclusiones</b>	<b>51</b>
<b>6. Bibliografía</b>	<b>55</b>
<b>7. Anexos</b>	<b>63</b>



## INTRODUCCIÓN





## 1. Introducción

El compost es un producto procedente del tratamiento mediante compostaje de residuos orgánicos en condiciones físicas, químicas y biológicas concretas. Este producto, posee cualidades fertilizantes de gran valor y es una alternativa de tratamiento de residuos que permite valorizarlos y utilizarlos para fines agrícolas, de jardinería e incluso recuperación de suelos.

El compostaje es una alternativa con valor económico para la gestión y valorización de residuos orgánicos de diferente procedencia. El uso del compost permite la recuperación de suelos y su función nutritiva para los cultivos asegura un retorno del carbono al ciclo. Debido al nuevo valor que se obtiene con la producción de este material para su uso agrícola, aparecen sistemas de tratamiento especializados para optimizar el proceso y producirlo en grandes cantidades con objeto de su comercialización.

Los composts comerciales son aquellos producidos a una gran escala, utilizando fuentes muy variadas de residuos orgánicos para compostar, con el objetivo final de su comercialización. Sin embargo, la amplia variedad de residuos recibidos por las plantas que realizan este proceso supone la heterogeneidad de las características de distintos composts, lo que puede suponer encontrar productos de mayor y menor valor y calidad. Es debido a esta variabilidad que las condiciones del proceso de compostaje comercial tienen que gestionarse correctamente, sin ser aun así seguro que la calidad final será la adecuada.

A raíz de este problema, este Trabajo de Fin de Máster se propone estudiar el vermicompostaje de estos composts para mejorar las características del producto antes de su comercialización. Para ello, se realizan pruebas con distintos composts y residuos de diversa procedencia y características. Con estos datos se relacionan las distintas respuestas de *Eisenia fetida* con las características de los diferentes sustratos utilizados antes y después de la exposición a la lombriz, de modo que se puedan encontrar situaciones donde el proceso de vermicompostaje sea viable como método de mejora del producto. Junto con la respuesta de las lombrices, se analizan las características iniciales y finales del compost para comprobar el margen de mejora que el proceso de vermicompostaje aporta al producto.

### 1.1. Producción de Residuos de naturaleza orgánica

Los residuos orgánicos son aquellos restos procedentes de un animal o vegetal, partes de un ser vivo, que pueden degradarse biológicamente.

Los residuos orgánicos se producen en multitud de actividades humanas, desde actividades de poda, ganaderas o trabajos agrícolas hasta actividades humanas relacionadas con la alimentación, servicios de limpieza u otros procesos relacionados con la vida humana, pero se clasifican en orígenes agrícola, ganadero, agroindustrial y urbano (Universitas Miguel Hernández 2019).

La gestión de estos residuos conlleva diferentes retos de gestión debido a su elevada producción y su gran diversidad de composición, ya que conlleva diferentes requerimientos de tratamiento.

El compostaje es una de las alternativas de la gestión de estos residuos. Se trata de un proceso químico y biológico aerobio dividido en fases; mesófila (21-48 °C), termófila (45-68 °C), final de fase biooxidativa y maduración, en las cuales se produce una sucesión de comunidades microbianas de hongos y bacterias que se encargan de degradar y transformar los componentes del residuo. Este tratamiento permite tratar los componentes de lignina junto a los materiales con mayor humedad o materia orgánica para obtener un producto con valor económico y una función agrícola. Además de reducir el volumen total del material, compostar permite la eliminación de numerosos patógenos y varios efectos tóxicos para plantas y animales (Hubbe, Nazhad y Sánchez 2010).

#### 1.1.1. Tipos de residuo

Los residuos que se han utilizado para realizar este TFM son de procedencia muy variada, pero han sido clasificados según sus actividades de origen. Estas son:

- **Agroalimentario:** provienen de actividades agrícolas, así como de actividades industriales de producción, tratamiento y envasado de alimentos de origen vegetal o animal. Para la realización de este TFM se utilizan restos de alperujo mezclado con distintas proporciones de otros residuos.

- **Ganadero:** aquellos que proceden de actividades ganaderas tales como crianza, engorde, limpieza de camas, etc. Los residuos ganaderos utilizados provienen de la ganadería porcina y bovina, más concretamente estiércoles y purines mezclados con distintas proporciones de poda o alperujo.
- **Urbano:** proceden de los desechos de jardines, parques, actividades comerciales urbanas pequeñas y viviendas. El que se utiliza para este TFM es procedente de la bioestabilizados urbanos y lodos de depuradora.
- **Mixto:** mezclas de bioestabilizado con poda urbana, gallinaza y alperujo en distintas proporciones de distintas características. Son residuos muy heterogéneos por lo que sus características son muy variadas, incluso dentro de una misma muestra.

### 1.1.2. Cuantificación de residuos

La generación de residuos orgánicos es un problema logístico y ecológico en la Comunitat Valenciana y toda España. Los residuos urbanos recogidos en el año 2019 solo en la Comunitat Valenciana son 2.497.277 toneladas, de las cuales 2.040.908 toneladas son residuos de origen doméstico y de las vías públicas, un gran porcentaje orgánico. En España se recogieron ese mismo año 22.784.752 toneladas de residuos urbanos, 17.034.229 de ellas de residuos domésticos (Figura 1). El total de residuos urbanos suma los residuos domésticos y similares a los residuos domésticos voluminosos y mezclados (Instituto Nacional de Estadística y INEbase 2019).

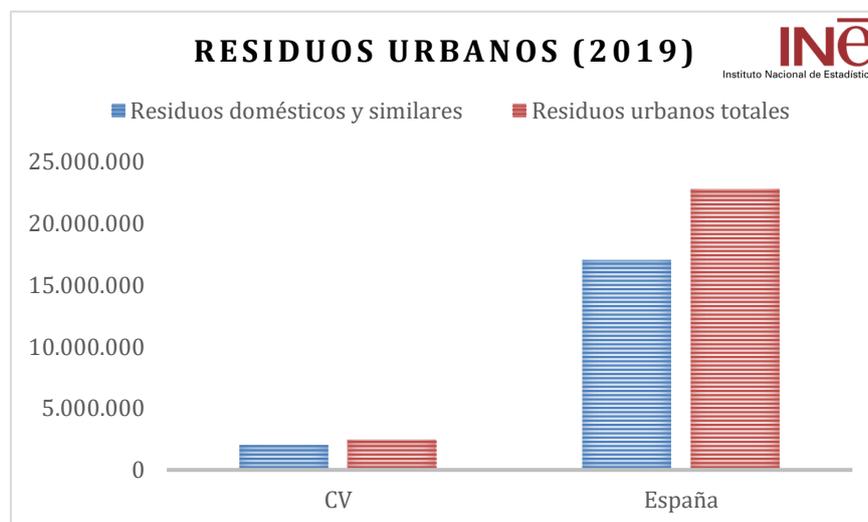


Figura 1. Residuos domésticos y urbanos generados en toneladas.

Si queremos tomar los residuos teniendo en cuenta únicamente aquellos procedentes de la industria que sean restos animales y productos alimentarios, restos vegetales, heces de animales y residuos domésticos, en 2018 obtenemos valores de 794.315 toneladas procedentes de residuos animales y productos alimenticios, 758.696 toneladas de residuos vegetales, 49.830 toneladas de heces, orina y estiércol y 249.494 toneladas de residuos domésticos totales (Figura 2) (Instituto Nacional de Estadística y INEbase 2022). Estos segundos valores son mucho menores que los obtenidos en el cómputo global de 2019, por lo que podemos comprobar la diferencia entre los residuos sólidos urbanos y los residuos orgánicos procedentes de actividades industriales.



Figura 2. Porcentajes de la masa de residuos orgánicos industriales de España en función de su origen.

## 1.2. Compostaje comercial

El compostaje comercial es un proceso a gran escala que recoge residuos de amplia procedencia con un objetivo comercial final.

Para poder trabajar con ellos se deben conocer las características del proceso comercial, su producción y las características generales del producto. Además, se debe conocer el margen de mejora que disponen, así como las distintas limitaciones a las que se enfrentan, tanto las propias del proceso como las marcadas por la normativa aplicable.

### *1.2.1. Características del proceso comercial*

El compostaje comercial está diseñado para grandes volúmenes de residuos y productos. No hay prácticas definidas estrictamente como comerciales, pero comúnmente en este tipo de sistemas, las operaciones duran de 1 a 4 meses, a diferencia con los procesos no industrializados, cuyas pilas pueden llegar a durar desde 6 hasta 12 meses. Debido a una búsqueda de mayor eficiencia y a los grandes volúmenes que se manejan, los procesos comerciales de compostaje suelen utilizar sistemas de aireación forzada y humidificadores automáticos que inyecten humedad al aire al tiempo que oxigenan la muestra, asegurando el control de las condiciones que se buscan durante el proceso. Es debido a esto que los sistemas de compostaje cerrados suelen ser los principales métodos de producción para este tipo de actividad, ya que permiten un control ambiental mayor del proceso y maximizar la eficiencia manteniendo grandes volúmenes (Cooperband 2002).

El compostaje en hileras también se ha utilizado como un ejemplo de bajo coste, ya que solo requieren una gran extensión de terreno para montarlas y algo de equipamiento mecánico para realizar los volteos. Otros sistemas sin reactores, como las pilas estáticas ventiladas, evitan la necesidad de equipamiento especializado y lo aúnan con bajos costes en comparación con los reactores, al tiempo que son eficaces para la gestión de materiales con excesiva humedad o difícil aireación (Fitzpatrick, Worden y Vendrame 2005).

### *1.2.2. Métodos de producción de composts comerciales*

Debido al gran volumen de tratamiento del compostaje comercial, los residuos se mezclan completamente, vigilando que la relación carbono/nitrógeno sea la adecuada y una humedad distribuida de forma homogénea.

Este material se trata mediante distintos métodos dependiendo de las distintas limitaciones a las que se enfrente la planta, como pueden ser las económicas o de espacio.



*Figura 3. Detalle de pilas de compostaje y volteo periódico mecánico.*

Las pilas estáticas son un método económico en que el material se apila sobre el suelo, evitando la compresión del material, en pilas de alrededor de 2 metros de altura y de forma trapezoidal, de modo que la convección natural se encargue de la ventilación y se realizan volteos cada aproximadamente 10 días para homogeneizar la mezcla y la temperatura y mejorar la ventilación (Figura 3).

Las pilas estáticas ventiladas toman el sistema y las ventajas de las pilas estáticas y las colocan sobre tubos perforados por los que se insufla o aspira aire para mejorar la aireación. Mediante el aporte de aire se regula la temperatura de la pila. Puesto que mezclar el material se complica, este método se utiliza para materiales muy homogéneos, como fangos mezclados con serrín (Figura 4).



*Figura 4. Arriba, detalle de pilas estáticas con sistema Rutgers de ventilación mecánica mediante sonda de temperatura. Abajo, pilas estáticas ventiladas con tubos perforados que insuflan aire.*

Otros sistemas, como los cerrados, consisten en túneles o contenedores donde se utiliza la ventilación forzada para controlar la temperatura y aireación. Estos sistemas tienen la ventaja de componerse de módulos que se pueden ampliar en caso de necesitar tratar más material, y se pueden controlar las condiciones de cada uno individualmente (Figura 5).



*Figura 5. Ejemplos de sistemas de túneles o contenedores de compostaje.*

El método de compostaje en tambor consiste en un contenedor en rotación lenta y generalmente aislado térmicamente que mantiene en movimiento el material de forma intermitente, de modo que se obtiene un material muy homogéneo y sin olores, ya que estos se producen en las fases iniciales y son extraídos por un sistema de ventilación con biofiltro.

El compostaje en túnel, muy extendido, se realiza en túneles cerrados de hormigón con una vía de ventilación controlada donde el residuo se mantiene estático todo el proceso, controlando sus condiciones desde el exterior.

En el caso del compostaje en contenedor, muy similar al anterior, los túneles se sustituyen por contenedores de acero, de menor tamaño que los túneles, y generalmente reciben un aporte constante de nuevo material por la parte superior mientras se descarga progresivamente por la parte inferior.

Por último, la técnica de compostaje en nave se realiza en una nave cerrada con una ventilación aportada mediante sistemas automáticos y máquinas rotativas que voltean periódicamente la muestra de forma automática.

Todas estas técnicas concluyen generalmente con un periodo de maduración, en el cual el compost disminuye su fermentación y actividad metabólica hasta

alcanzar los valores que tendrá en su estado estable y listo para su almacenamiento.

En muchos casos, todos estos procesos son acompañados con tratamientos para el olor, utilizando distintas técnicas como biofiltros, barreras físicas o tratamientos químicos para mitigar o eliminar los olores molestos, o al menos disminuir su impacto a la población cercana (Estrucplan 2000).

### *1.2.3. Insumos y características del producto*

Los insumos utilizados para la producción de composts comerciales son muy variados y su composición determina en gran medida la del compost resultante. Una gran presencia de impropios, y/o un desequilibrio muy grande en sus características puede afectar negativamente tanto al proceso de producción como al material resultante y su efectividad.

Para este TFM se ha trabajado con insumos de origen urbano, ganadero y agrícola de distinta calidad, tratando de obtener una muestra representativa y comprobar la idoneidad de las características de cada material para mantener la actividad fisiológica de las lombrices.

Los insumos de origen agroindustrial son comunes y variados. Principalmente se componen de complejos materiales como lignocelulosa, celulosa o lignina. Estos compuestos son muy recalcitrantes en el proceso de compostaje, lo que obstaculiza el proceso y la calidad del producto final. Además, lidiar con estos compuestos conlleva un incremento en el coste operacional, la energía utilizada y el tiempo de compostaje. Por lo general, optimizar los parámetros físico-químicos del proceso es eficaz para tratar con estos problemas, aunque también se utilizan métodos de inoculación de microorganismos (Zainudin y col. 2022).

En el caso de los insumos ganaderos, se trabaja principalmente con estiércoles, purines y gallinaza. Estos materiales tienen un alto contenido en nitrógeno que, a través del proceso de compostaje, se degrada en amonio por una gran variedad de microorganismos. El nitrógeno orgánico es un elemento muy preciado para las actividades agrícolas, ya que es uno de los nutrientes útiles para los cultivos. Sin embargo, entre el 19% y el 77% del nitrógeno se pierde por volatilización durante el proceso debido a su conversión en gases como  $N_2O$  o  $N_2$  a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación que ocurren durante el compostaje (Maeda y col. 2011). Este tipo de insumos tiene

ciertos problemas debido a su humedad y alto contenido en nitrógeno, por lo que se suelen mezclar con materiales lignocelulósicos, de alto contenido en carbono, que actúen como estructurantes durante todo el compostaje.

Son estos insumos de mezclas entre otros materiales de origen lo que consideramos mixtos para este trabajo. En ellos se mezclan materiales recalcitrantes y elevado contenido en carbono, como el orujo o la poda en este caso, con otros de mayor contenido en nitrógeno y más problemas estructurales, como la gallinaza o el purín.

Los residuos urbanos utilizados para el compostaje son, posiblemente, los de composición más variada entre los mencionados. Debido a su procedencia, algunas fuentes plantean la posibilidad de que puedan llegar a tener efectos nocivos en la cadena de alimentos debido a su alto contenido en patógenos y, generalmente, gran cantidad de impropios inorgánicos. Aunque los estudios sugieren que el peligro asociado a la contaminación química de los alimentos o el suelo por los composts de origen urbano es bajo, su compostaje es difícil y se han de paliar todas sus posibles características tóxicas y problemas microbiológicos, así como su relativamente elevado porcentaje en metales pesados (Déportes, Benoit-Guyod y Zmirou 1995).

En relación a esto, la mezcla inicial que se utiliza para llevar a cabo el proceso de compostaje debe tener unas características determinadas, como la relación C/N, que debe estar alrededor de 30.

#### *1.2.4. Limitaciones del proceso*

Debido a la gran heterogeneidad entre los insumos que se utilizan para llevar a cabo los procesos de compostaje, se pueden encontrar problemáticas tan diversas como lo son las composiciones y características de los insumos y materiales origen.

Puesto que el compostaje es un proceso biológico, entre sus limitaciones principales se encuentra la capacidad potencial de los microorganismos del sistema para degradar los componentes del residuo. También es importante tener en cuenta que en los procesos de compostaje se pueden producir cambios en los metales del material original, provocando que entren en la cadena trófica a través del sustrato. Por último, se requiere un control de las condiciones

ambientales que permita a los microorganismos proliferar correctamente y evitar procesos indeseados, como posibles anoxias o la proliferación de patógenos o parásitos (Golueke y Diaz 1990).

#### 1.2.5. Calidad y potencial de mejora

Mediante este trabajo se plantea la posibilidad de mejorar las características finales y la calidad general de los composts producidos de forma industrial mediante la adición de lombrices para realizar un vermicompostaje. Muchos autores sugieren una mejora en las cualidades de los composts tras el vermicompostaje, obteniendo menores concentraciones de fósforo, menores contenidos de nitrógeno y con más lenta mineralización, aumentos en las concentraciones de potasio, pH muy cercanos a la neutralidad y niveles de materia orgánica más que aceptables (Castillo, Quarín y Iglesias 2000). Estos cambios pueden permitir mejorar las características de los composts comerciales producidos con materiales más problemáticos, permitiendo al material final ser comercializado sin problemas y con un valor añadido.

#### 1.2.6. Normativa aplicable

Los requerimientos legales relacionados con las características de los composts comerciales producidos con residuos orgánicos quedan regulados por el Real Decreto 506/2013, cuya última modificación es en Orden APA/104/2022, que adapta la normativa al Reglamento (CE) 2019/1009. En este se establecen los niveles para el Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo, Zinc, Mercurio y Cromo (Tabla 1), así como los límites máximos de microorganismos. Los límites de metales pesados estipulados en la normativa clasifican los sustratos como Clase A o Clase B, dependiendo de los límites rebasados. Respecto a los límites de microorganismos, en los sustratos de cultivo de origen orgánico se debe acreditar que no se superan los límites máximos de microorganismos, siendo estos ausencia de *Salmonella* en 25 g de producto elaborado, ausencia de *Listeria monocytogenes* en 1 g de materia bruta (solo si el cultivo en que se utiliza se consume en crudo), menos de 1000 NMP *Escherichia coli* por gramo de producto elaborado, entre 10<sup>4</sup> y 10<sup>5</sup> NMP *Enterococcaceae* por gramo de producto elaborado y entre 10<sup>2</sup> y 10<sup>3</sup> NMP *Clostridium perfringens* por gramo de producto elaborado (BOE 2013).

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

*Tabla 1. Límites de metales pesados según el Real Decreto 865/2010.*

### 1.3. Vermicompostaje

El vermicompostaje es un proceso ecotecnológico de bajo coste que permite la bio-oxidación, degradación y estabilización de los residuos orgánicos por la acción conjunta de lombrices y microorganismos, obteniendo así vermicomposta, un producto similar al compost, estabilizado, homogéneo y fino (Villegas-Cornelio y Laines Canepa 2017). Este proceso se puede aplicar sobre compost maduros o semi maduros para finalizar el proceso o mejorar las características del producto. Este tratamiento agrega valor al producto debido a la actividad enzimática que aportan las lombrices. Es por este motivo por el que se plantea un postratamiento de los composts comerciales, de rápida producción y gran escala.

#### 1.3.1. Descripción del proceso y etapas

El vermicompostaje ocurre en tres etapas: preacondicionamiento, vermicompostaje y maduración. Durante el preacondicionamiento se realiza el compostaje del material para adecuar sus características a las necesidades de las lombrices, estabilizarlo y eliminar posibles desequilibrios de pH, nutrientes o patógenos que puedan afectar negativamente a las lombrices (Mikolic y col. 2018). En la fase de vermicompostaje se introducen los individuos de la especie

de lombriz utilizada, en nuestro caso *Eisenia fetida* y *Eisenia andreii*, y se adecuan la humedad y temperatura al óptimo para la especie.

Por último, en la fase de maduración, se retiran las lombrices y se deja el vermicompost madurar, de modo que se producen procesos de humificación y mineralización del nitrógeno facilitados por la actividad previa de las lombrices, siendo mucho más rápidos y eficaces que en el compostaje tradicional (Domínguez, Edwards y Subler 1997).

### 1.3.2. Condiciones del proceso

El vermicompostaje requiere la adecuación del medio a las necesidades mínimas, y a poder ser óptimas, de la especie de lombriz que se utilice. *Eisenia fetida* y *Eisenia andreii* son las más utilizadas gracias a su versatilidad para esta técnica y sus bajos requerimientos. El punto óptimo de temperatura para la actividad de *E.fetida* y *E.andreii* es de entre 25 y 28 °C, con una humedad en torno al 80% (Pandit y Maheshwari 2012). Un pH 7 permite el desarrollo adecuado de la especie, pero puede soportar rangos entre 5 y 8,4, fuera de los cuales la lombriz entra en periodo de latencia (Geler 2013). En ciertos casos, un pH más cercano a los límites del rango es capaz de eliminar patógenos y competidores de la lombriz sin afectar demasiado al rendimiento del proceso.

### 1.3.3. Calidad del vermicompost

La calidad de los vermicomposts respecto a los composts de partida depende en gran medida del material original. Hay características de los composts que se ven mejoradas respecto al tratamiento de compostaje común, obteniendo en algunos casos mejores rendimientos que el compost tradicional. Los estudios sugieren que los valores de nitrógeno, fósforo y materia orgánica aumentan, el pH se acerca más a niveles neutros y se obtienen mayores valores de actividad enzimática y nutrientes disponibles. Sin embargo, no se puede realizar ninguna generalización respecto a los vermicomposts y su calidad superior (Tognetti y col. 2005).



## OBJETIVOS



Biblioteca  
UNIVERSIDAD Miguel Hernández



## 2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es estudiar la viabilidad del vermicompostaje como post-tratamiento de composts producidos a gran escala a partir de residuos de diferente naturaleza (2 agroindustriales, 8 ganaderos, 5 mixtos y 2 urbanos) intentando establecer los requisitos y factores limitantes y determinando la mejora en las características a nivel de contenido en nutrientes, calidad agronómica y estabilidad del producto final.

Mediante los experimentos con *Eisenia fetida* se planea obtener información sobre la supervivencia de la especie en los distintos composts para así poder discernir en qué casos no sería viable la mejora del producto mediante el vermicompostaje. Estos datos se extrapolan de los experimentos de 30 días de supervivencia y se enmarca en el objetivo general de desarrollar una agricultura más sostenible y mayor versatilidad para cumplir con los objetivos de Economía Circular y mantenimiento de los ciclos de nutrientes.

En la Figura 6 se observa el mapa conceptual del proceso de compostaje comercial si se integra con un vermicompostaje posterior para mejorar las características del producto. En este cabe destacar el análisis de las características de los productos antes de proponer la alternativa del vermicompostaje.

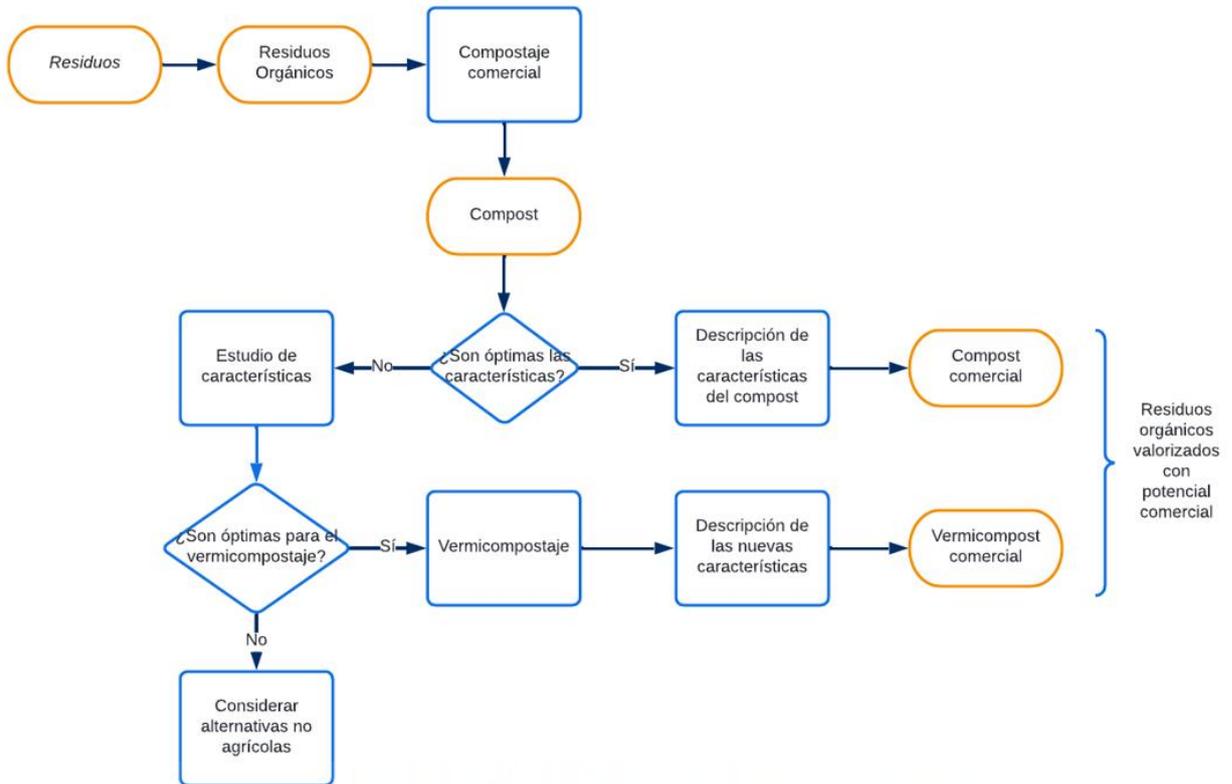


Figura 6. Diagrama conceptual del proceso de mejora de composts comerciales mediante vermicompostaje

Para este trabajo Fin de Máster el objetivo general se ha desglosado en los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la supervivencia y evolución de la biomasa de *E.fetida* en distintos composts comerciales.
- Describir las características físico-químicas de los composts comerciales utilizados.
- Comparar los parámetros iniciales y finales de cada uno de los composts sometidos a este proceso para determinar los cambios en las características.
- Determinar la alternativa del vermicompostaje posterior al compostaje industrial como una opción válida a través de estudio económico del producto resultante.

## MATERIAL Y MÉTODOS





### 3. Material y métodos

#### 3.1. Diseño experimental

Se montaron 3 lechos (repeticiones) con *E.fetida* con cada una de las muestras, para determinar la supervivencia y evolución de peso de los individuos de *Eisenia* se realizó un conteo de las lombrices en cada uno de los lechos tras 15 y 30 días desde su montaje. Para ello, las lombrices eran cuidadosamente extraídas de los lechos, contadas y pesadas en conjunto. De cada una de las repeticiones se muestreo a t0 y t30d a fin de determinar la evolución de los parámetros físico- químicos durante el ensayo.

Paralelamente, las mismas muestras de composts prosiguieron con el proceso normal de compostaje establecido en cada planta para posteriormente realizar una comparación entre las características obtenidas con *Eisenia fetida* y sin ella.

#### 3.2. Desarrollo experimental



Figura 7. Montaje de cajas con las muestras (Arriba izquierda), almacenamiento de las cajas en condiciones óptimas durante 30 días (Arriba derecha), revisión de las cajas (Abajo izquierda), vaciado de las cajas para el recuento manual (Abajo derecha).

Los materiales testados durante el ensayo provinieron de diferentes plantas de compostaje comercial y todas las muestras fueron tomadas durante el final de la fase biooxidativa de cada proceso. Los composts se dejaron secar al aire y con un tamiz de 12 mm se eliminaron los elementos gruesos (Figura 8). Se determinó la humedad a tiempo inicial mediante método gravimétrico y la densidad aparente utilizando una jarra de 250 mL. Se elaboraron entonces los lechos de lombrices introduciendo un volumen de 2 litros de muestra para una altura de lecho de 5 cm y se adecuó la humedad al 60% de la capacidad máxima de retención de humedad (CRH), que equivale a un rango de humedad entre el 60% y el 80% dependiendo del material y se incorporaron a cada uno 100 individuos citelados de *E.fetida* que eran previamente pesados en conjunto. Los lechos se dejaron en una sala termostatazada a  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  en condiciones de oscuridad, controlando diariamente la humedad. En cada uno de los conteos se realizó un pesado del conjunto caja-sustrato-lombrices y se tomaron datos de densidad y humedad a tiempo 0 (T0) y después de 30 días (T30) (Figura 7).



Figura 8. Detalle de la preparación de la muestra de compost previa al bioensayo con lombrices. Material para tamizado (Arriba izquierda), Tamizado de muestra (Arriba derecha), Fino 1 y bruto 1 (Abajo izquierda) y Obtención del Fino 1 (Abajo derecha).

### 3.3. Parámetros analizados y métodos analíticos

#### Humedad

Utilizamos método gravimétrico. Tomamos vasos y pesamos una cantidad de la muestra húmeda. Después la introducimos en la estufa a 105 °C durante el tiempo necesario hasta que su peso se mantenga constante. Por último, volvemos a pesar los vasos con la materia ya seca y determinamos el porcentaje de humedad de la muestra inicial mediante la diferencia de peso entre la inicial y la final:

$$\%H_2O = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_1} \times 100$$

Donde:

- P1: peso del vaso sin muestra
- P2: peso del vaso con la muestra fresca
- P3: peso del vaso con la muestra seca

#### Densidad Aparente

Utilizando una jarra de medición tarada, tomamos 250 mL de la muestra húmeda sin lombrices en el T0 y T30 de los lechos con lombrices y pesamos el contenido. Realizamos dos mediciones a cada lecho tarando la jarra de medición en cada una y calculamos la densidad aparente mediante la media de ambas mediciones dividida entre el volumen utilizado.

#### Materia Orgánica Total

Se determina la materia orgánica como el peso eliminado por calcinación a 430 °C durante 24 horas. El valor se expresa en porcentaje respecto al peso de muestra seca.

#### Cenizas

Se consideran cenizas o fracción inorgánica al peso sin volatilizar tras la calcinación a 430 °C durante 24 horas. Se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Cenizas} = 100 - \% MOT$$

#### pH y Conductividad eléctrica (CE)

Para analizar los parámetros de pH y conductividad eléctrica (CE), se tomaron 3 g de cada muestra por duplicado en tubos falcon y se mezclaron en relación 1:10 con agua destilada. Los tubos se metieron en un agitador durante 2 horas tras lo que se realizó la medición del pH mediante un pHmetro. Después se introdujeron los tubos en una centrífuga durante 5 minutos a 1.500 rpm, se filtró el sobrenadante y se midieron los valores de CE con un conductímetro.

#### *Polifenoles hidrosolubles (PPS)*

Se toman 2 gramos de cada muestra en tubos Falcon. Se les añaden 40 ml de agua destilada y se agita durante 2 horas. Tras la agitación, se centrifugan los tubos a 3000 revoluciones durante 2 minutos y se filtran con filtros de malla. Del extracto obtenido se introduce 1 ml en un matraz aforado de 50 ml, al que posteriormente se le agrega 2,5 ml de Reactivo Folin Ciocalteu, se agita y se espera 3 minutos, tras lo cual se detiene la reacción con 5 ml de carbonato sódico al 20%. Por último, se enrasa con H<sub>2</sub>O destilada, se deja reposar durante 1 hora y se utiliza un espectrofotómetro para determinar la absorbancia a 725 nm de longitud de onda. La recta de calibrado se realiza siguiendo el mismo procedimiento, sustituyendo la muestra por diferentes concentraciones de ácido gálico.

#### *Índice de germinación*

Se toman 5 g de cada muestra, integrando ambas réplicas en el caso de las muestras finales en una relación 50% y homogeneizándola. Se humecta cada muestra al 60% con agua destilada. Posteriormente se agregan 7,5 ml de agua destilada, se agita para homogeneizar y se extrae el extracto filtrando a presión negativa a través de un filtro de fibra de vidrio. Para cada muestra se preparan 10 placas de petri con un filtro de papel, con 8 semillas de *Lepidium sativum*. A cada placa se le agrega 1 ml del extracto, se envuelven los lotes de 10 placas en papel de aluminio y se introducen durante 48 horas en una incubadora a 27 °C. Por último, se comprueba el número de semillas germinadas y la longitud de la raíz de cada planta (Figura 9).

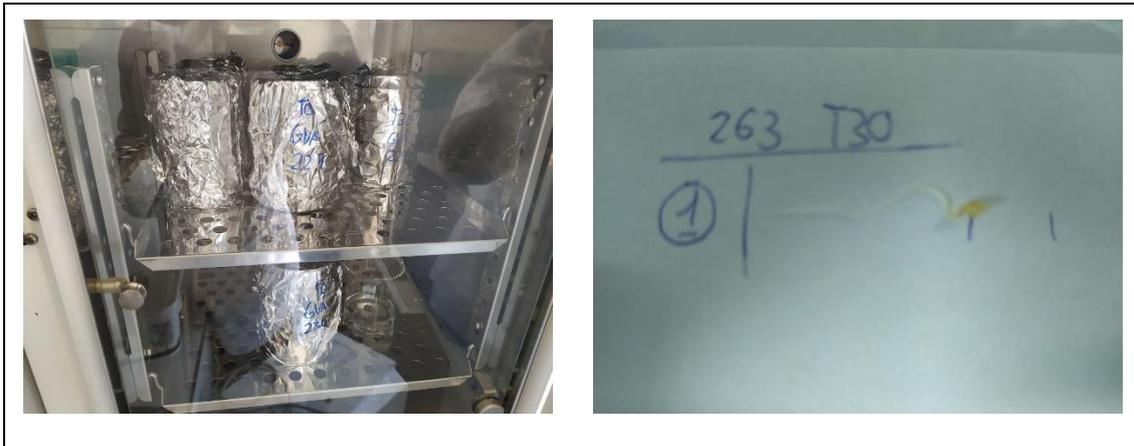


Figura 9. Incubadora con placas para medir el índice de germinación y medición de un brote tras 48 h.

### Capacidad de retención hídrica

Determinación de la máxima cantidad de agua que queda retenida en el sustrato bajo presión atmosférica (humedad máxima del sustrato).

En un recipiente con orificios en su base, se coloca en el fondo una malla de nylon (para evitar la pérdida de suelo) y se pesan unos 150 g de suelo. El recipiente se coloca en una bandeja y se añade agua destilada en ésta para que el suelo se sature desde su base por capilaridad. Una vez saturado el suelo transcurridas unas horas, se tapa la superficie con un vidrio de reloj o similar (para evitar el secado superficial) y se deja drenar durante aproximadamente 12 horas. Se pesa y se determina la humedad retenida por diferencia de pesadas.

$$CRH = \frac{P3 - P2}{P2 - P1} \times 100$$

Donde:

P1: peso del recipiente + malla sin el suelo

P2: peso del recipiente + malla + suelo antes de saturación

P3: peso del conjunto tras su drenaje

Determinación del porcentaje de agua con respecto a la muestra húmeda por diferencia de pesadas. Para ello se pesan aproximadamente 10 g de muestra húmeda (secada al aire) en recipiente previamente pesado y se seca en una estufa a 105 °C durante 12 horas. La pérdida de peso se da como humedad, expresada en porcentaje respecto a peso de muestra húmeda. Todos los datos que fueron obtenidos en los distintos métodos analíticos se corrigieron con este valor para referirlos a peso seco.

*Carbono orgánico total (COT) y Nitrógeno total (NT). Determinación de CN*  
Medida del CO<sub>2</sub> producido por la quema a 1020 °C de la muestra en un analizador elemental (Navarro y col. 1991).

Se toman 1-2 mg de muestra molida en molino de bolas en una cápsula de estaño con precisión de 0,001 mg. El analizador se calibra con un patrón de atropina (*EuroVector Elemental Analyzer, Milano, Italy*)

#### *Mineralización de la muestra*

Digestión con HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O (1:1 v/v) en microondas (*CEM, mod. MARS ONE*). La digestión se asiste con vasos de teflon y sondas de temperatura especialmente diseñadas para ello.

#### *Determinación de macronutrientes (K y P) y metales pesados*

La muestra se introduce en un ICP- OES para la determinación de los metales pesados Cd, Cu, Ni, Pb, Zn y Cr, además de los macronutrientes K y P.

### 3.4. Métodos Estadísticos

Para realizar el análisis estadístico de las muestras se han realizado Análisis de Modelo Lineal (GLM) multivariante. Además, se ha realizado la prueba ANOVA utilizando el contraste Post-hoc hecho con Tukey-b y DMS.

Para todos estos análisis se han ignorado las muestras de origen urbano debido a su alta mortalidad con el objetivo de no diluir los datos.

Se han realizado análisis para estudiar los cambios en la supervivencia de *Eisenia fetida* y para los cambios en los parámetros físico-químicos.

Para estudiar la supervivencia se han agrupado los datos en función de la variable origen del material para determinar si su origen afecta en la supervivencia de la especie y en su variación de peso.

En lo que respecta a los parámetros físico-químicos, se ha utilizado la variable de presencia y ausencia de la lombriz para determinar si varía significativamente las propiedades del producto. También se han comparado cada una de las muestras individualmente a tiempo inicial, tiempo final con lombrices y tiempo final sin lombrices. Se ha utilizado el paquete estadístico IBM SPSS Statistics v24 para todos los test estadísticos.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN



## 4. Resultados y Discusión

### 4.1. Punto de partida: descripción de los compost comerciales utilizados

Los composts utilizados son de distinta procedencia y composición (Tabla 2) o tienen distintas relaciones de mezcla de sus distintos residuos de procedencia (Tabla 3). Esto ha permitido comparar el efecto de las distintas composiciones de ciertos residuos críticos sobre la población de *E.fetida* al mismo tiempo que se analiza su supervivencia en sustratos dispares. Las muestras se han clasificado según la procedencia de sus residuos de origen: urbana, ganadera, mixta o agroalimentaria. Todas estas son fuentes comunes de materia orgánica y materiales lignocelulósicos para compostaje con múltiples ventajas y problemáticas asociadas.

Como se puede observar en la Tabla 2, los composts testados presentan un rango de pH 5,5-8,5, el cual se ha referenciado en otros trabajos como óptimo para el crecimiento de *E.fetida* y el desarrollo de la actividad microbiana del sustrato (Yadav y Garg 2011). En general, si observamos el valor de pH distinguiendo entre las diferentes fuentes, los composts ganaderos presentan valores más bajos, mientras que los agroalimentarios presentan valores más altos.

En cuanto a la CE, al inicio del experimento, todos los composts mostraron un valor inferior al límite establecido comúnmente como óptimo para el crecimiento de lombrices epigeas (<8ds/m) (Lasaridi y col. 2006).

Si observamos el contenido en polifenoles hidrosolubles, aunque presenten alta variabilidad entre muestras de la misma naturaleza, podemos destacar un mayor contenido en este tipo de compuestos aromáticos en los composts agroalimentarios. Esto parece lógico debido al alto contenido en celulosas y lignocelulosas de los materiales de partida de estas muestras. En otros trabajos sobre compostaje se ha demostrado que los compuestos fenólicos en gran parte provienen de la biodegradación de este tipo de macromoléculas orgánicas (Abid y Sayadi 2006). Esto podría ser un limitante, teniendo en cuenta la alta capacidad antioxidante y antimicrobiana mostrada por las distintas familias de compuestos fenólicos (Martínez-Gallardo y col. 2020).

Respecto a la IG, la mayoría fueron superiores al 80% con la excepción de AGL-1 y muchos de los composts ganaderos.

Muestra T0	MIX-1	MIX-2	MIX-3	MIX-4	MIX-5	AGL-1	AGL-2	GAN-1	GAN-2
<b>Origen</b>	Mix	Mix	Mix	Mix	Mix	AGL	AGL	Gan	Gan
<b>pH</b>	8,80	8,55	8,59	8,60	8,37	9,28	8,94	6,70	6,70
<b>CE</b>	3,65	3,65	3,08	3,29	4,62	4,72	2,90	6,55	6,23
<b>MOT</b>	57,8	47,9	64,4	58,7	48,40	44,4	25,1	41,4	43,1
<b>Polifenoles hidrosolubles (PPS)</b>	986	1482	848	919	1327	2766	2735	568	1200
<b>IG</b>	85,3	92,9	97,8	86,7	82,4	73,3	86,6	81,6	58,9
<b>Densidad aparente</b>	828	832	926	816	900	872	677	604	570

Muestra T0	GAN-3	GAN-4	GAN-5	GAN-6	GAN-7	GAN-8	URB-1	URB-2	URB-3
<b>Origen</b>	Gan	Gan	Gan	Gan	Gan	Urb	Urb	Urb	Urb
<b>pH</b>	7,28	6,81	7,09	7,12	7,34	8,16	8,18	7,97	6,30
<b>CE</b>	4,96	6,00	5,59	5,67	4,59	2,23	4,23	6,06	4,79
<b>MOT</b>	40,6	38,4	40,5	41,1	41,2	64,6	55,0	43,6	39,0
<b>PPS</b>	1029	1262	950	1218	1112	544	961	1872	726
<b>IG</b>	45,6	65,3	56,2	77,1	77,3	106,1	-	-	105
<b>Densidad aparente</b>	593	574	599	565	609	763	723	781	591

Tabla 2. Características iniciales de los composts sometidos al experimento de vermicompostaje. AGL: agroalimentario; Gan: ganadero; Urb: urbano; Mix: mixto.

## 4.2. Proceso de vermicompostaje

### 4.2.1. Supervivencia y evolución de biomasa de *E.fetida*

Como es esperable, al tratarse de composts parcialmente estabilizados obtenidos al final de la fase biooxidativa, el porcentaje de supervivencia de *Eisenia fetida* disminuye con el tiempo. Diversos autores han investigado la combinación de compostaje y vermicompostaje para el tratamiento de diferentes materiales orgánicos, demostrando que el compostaje previo puede acelerar la degradación y mejorar la estabilización del producto final (Fornes y col. 2012)(Lazcano, Gómez-Brandón y Domínguez 2008). Pero un material de partida insuficientemente estabilizado también puede presentar características que no sean idóneas para el mantenimiento de la actividad fisiológica normal de las

lombrices, tales como el alto contenido en compuestos fenólicos o un alto contenido en nitrógeno en forma amoniacal (MacCi, Masciandaro y Ceccanti 2010).

Sin embargo, tal y como muestra la Figura 10, en los composts provenientes de residuos agroalimentarios o ganaderos, la supervivencia se mantiene alta durante más tiempo. Se omitieron los datos de los composts urbanos debido a la mortalidad cercana al 100% que se produjo en los primeros días durante la fase de pre-adaptación.

Muestra	Tipo	Subtipo	Ing 1 Clase Nombre	Ing 2 Clase Nombre	Ing 3 Clase Nombre
MIX-1	MIXTO		Alperujo	Poda urbana	Bioestabilizado < 8mm Cervera
MIX-2	MIXTO		Alperujo	Poda urbana	Bioestabilizado < 8mm Cervera
MIX-3	MIXTO		Alperujo	Bioestabilizado < 8mm Cervera	
MIX-4V	MIXTO		Alperujo	Poda urbana	Bioestabilizado < 8mm Cervera
MIX-5	MIXTO		Alperujo	Bioestabilizado < 8mm Cervera	Gallinaza
AGL-1	AGROALIMENTARIO		IND Alperujo	GAN Estiércol	AGR Poda triturada
AGL-2	AGROALIMENTARIO		Alperujo	Poda urbana	Gallinaza
GAN-1	GANADERO	PORCINO	IND alperujo	URB poda urbana	GAN Purín FS
GAN-2	GANADERO	PORCINO	IND alperujo	URB poda urbana	GAN Purín FS
GAN-3	GANADERO	PORCINO	IND alperujo	URB poda urbana	GAN Purín FS
GAN-4	GANADERO	PORCINO	IND alperujo	URB poda urbana	GAN Purín FS
GAN-5	GANADERO	PORCINO	IND alperujo	URB poda urbana	GAN Purín FS
GAN-6	GANADERO	PORCINO	IND alperujo	URB poda urbana	GAN Purín FS
GAN-7	GANADERO	PORCINO	IND alperujo	URB poda urbana	GAN Purín FS
GAN-8	GANADERO			GAN Gallinaza	
URB-1	URBANO				
URB-2	URBANO	RSU	Bioestabilizado		
URB-3	URBANO	LODOS	Lodo		

Tabla 3. Composición de la mezcla de los composts sometidos a vermicompostaje experimental.

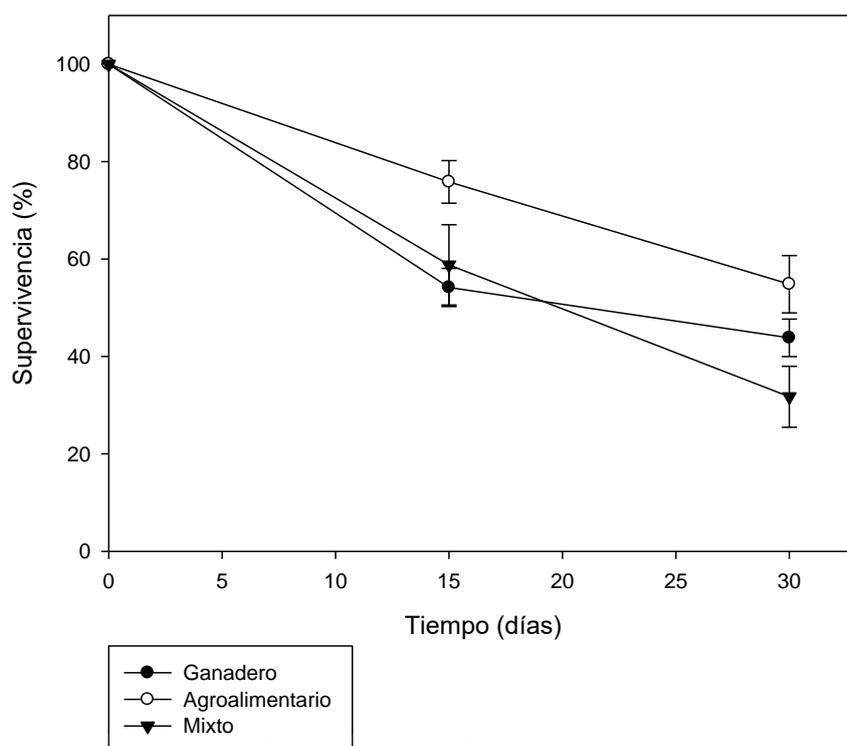


Figura 10. Evolución de la supervivencia de *Eisenia fetida* en función de los días.

Respecto a la evolución del peso, la Figura 11 muestra la evolución del peso por individuo en los composts de cada procedencia. En ella se observa el crecimiento de la biomasa de *E.fetida* en composts de origen ganadero, así como la disminución del peso en composts agroalimentarios, mixtos y de forma más brusca en urbanos.

La Tabla 4 y la Tabla 5 expresan los cambios en supervivencia y peso por lombriz que se experimenta en cada momento del proceso dependiendo del origen del compost. En ellas se observa que los cambios en las variables estudiadas son significativos. Si nos fijamos en la supervivencia, la estadística nos sugiere una variación en la supervivencia entre los 15 y los 30 días mucho menor en los composts ganaderos, mientras que en los agroalimentarios y mixtos se pierde mucho porcentaje de supervivencia en ese periodo de tiempo. Esto puede deberse a que las lombrices utilizadas para el estudio se criaron en residuos ganaderos y pueden estar más aclimatadas al tipo de sustrato, además de que se trata de un medio óptimo para la cría de esta especie según algunos autores (Nogales y col. 2020). La estadística sugiere que durante los primeros

15 días la supervivencia es mayor en los composts agroindustriales que en los mixtos y en estos es mayor que en los ganaderos.

Tratando la variación del peso de los individuos, la estadística de las tablas 4 y 5 corroboran que en los composts ganaderos se produce un crecimiento de la biomasa de *E.fetida* de cerca del 30% en los 15 primeros días y de un 50% más en los 15 siguientes, mientras que en mixtos y agroalimentarios se produce una pérdida de peso más o menos constante, en torno a un 20% menos cada 15 días. Sin embargo, y tal y como nos muestra la Figura 11, hay una gran variabilidad entre los resultados de supervivencia y peso obtenidos en los composts ganaderos, mientras que los obtenidos en los mixtos y agroalimentarios parecen mucho más similares entre ellos. Esta pérdida de biomasa de *E.fetida* en los composts con más material celulósico y lignocelulósico puede deberse a una falta de materia orgánica fácilmente accesible para la lombriz. Otros estudios sugieren un incremento en la biomasa de *E.fetida* en sustratos con altos niveles de materiales lignocelulósicos cuando son mezclados con estiércol en proporciones superiores al 50% (Sharma y Garg 2019).

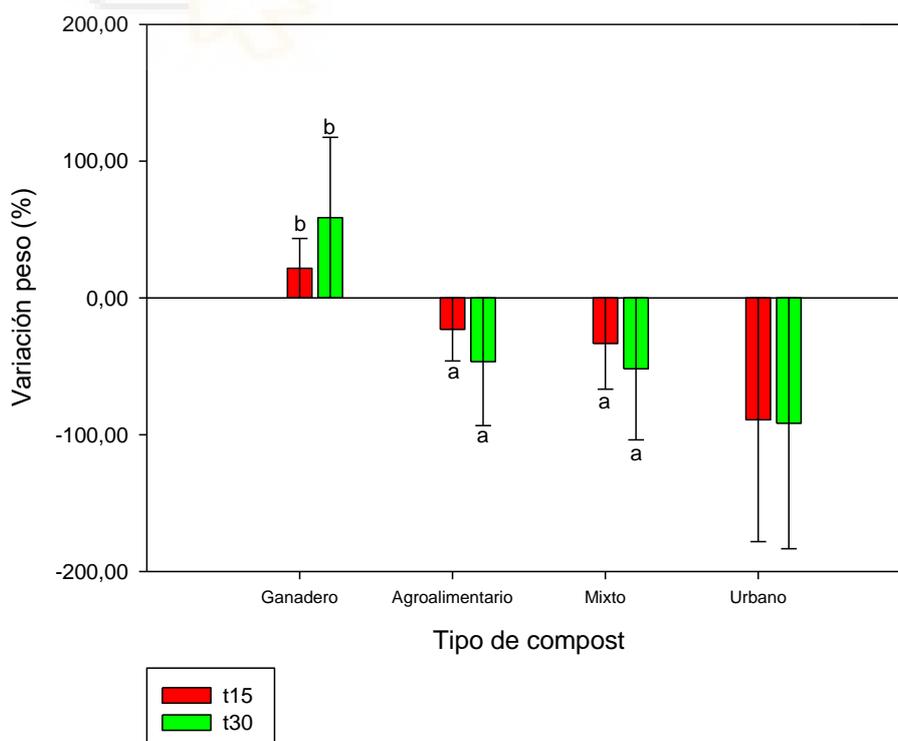


Figura 11. Variación de peso por individuo en función del tipo de compost.

Origen	Supervivencia	Supervivencia	Variación peso	Variación peso
	(%)	(%)	(%)	(%)
	15 días	30 días	15 días	30 días
<b>Ganadero</b>	54,2 a	54,8 b	29,1 b	83,4 b
<b>Agroalimentario</b>	75,8 b	44,5 ab	-20,7 a	-45,1 a
<b>Mixto</b>	60,5 ab	32,9 a	-28,6 a	-44,8 a
<b>F-ANOVA</b>	4,56 *	5,01 *	28,8 ***	17,7 ***

Tabla 4. Estadística de la supervivencia y la variación de peso, ambas en porcentaje, de *E.fetida* dependiendo del origen del compost. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001.

Muestra	Supervivencia	Supervivencia	Variación peso	Variación peso
	(%)	(%)	(%)	(%)
	15 días	30 días	15 días	30 días
<b>AGL-1V</b>	78,0 fg	58,0 de	-33,9 ab	-54,1 ab
<b>MIX-1V</b>	60,0 cde	30,0 bc	-30,5 abc	-37,5 bc
<b>MIX-2V</b>	53,7 cd	17,0 a	-35,9 ab	-55,3 ab
<b>MIX-3V</b>	89,7 g	53,0 de	-5,82 bcde	-27,7 bc
<b>MIX-4V</b>	83,7 g	58,7 de	-16,3 bcd	-32,5 bc
<b>MIX-5V</b>	15,5 a	6,00 ab	-54,3 a	-71,0 a
<b>AGL-2V</b>	73,7 efg	51,7 de	-7,84 bcde	-36,1 bc
<b>GAN-1V</b>	35,3 b	23,7 ab	23,3 efg	-5,74 c
<b>GAN-2V</b>	34,7 b	21,3 ab	6,58 def	-21,0 bc
<b>GAN-3V</b>	64,0 def	52,0 de	19,4 defg	26,4 d
<b>GAN-4V</b>	74,0 efg	69,7 e	91,5 h	283 f
<b>GAN-5V</b>	55,0 cd	52,0 de	49,9 g	161 e
<b>GAN-6V</b>	37,7 b	29,0 bc	7,55 def	50,1 d
<b>GAN-7V</b>	46,0 bc	46,0 cd	31,3 fg	191 e
<b>GAN-8V</b>	86,7 g	62,0 de	2,92 cdef	-18,0 c
<b>F-ANOVA</b>	36,8 ***	17,3 ***	23,4 ***	193 ***

Tabla 5. Estadístico y significancia de la variación de supervivencia y peso según cada muestra. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001.

#### 4.2.2. Evolución de parámetros clave

Al estudiar la significancia de la presencia de *E.fetida* en todas las muestras se observa un mayor descenso en el porcentaje de materia orgánica total (MOT) en las muestras con lombrices respecto a las que no las tenían. Este

comportamiento coincide con lo reportado por otros autores que observaron un descenso gradual en el contenido de MOT a medida que avanzaba el vermicompostaje debido al consumo de fuentes de carbono disponibles para la formación de tejido de lombriz con la subsecuente estabilización del sustrato (Yadav y Garg 2011). Como se puede observar en la Tabla 6, en el proceso de vermicompostaje la biodegradación del contenido de MO fue un 16% mayor que en las muestras compostadas. También se observa un mayor descenso (4,5%) de carbono orgánico total en las muestras con lombrices que en las que no tenían al final del ensayo. Aunque la variación del nitrógeno total (TN) no se mostró significativa, la relación C/N sí lo hizo, siendo algo inferior en las muestras con lombrices. Ninguno de los metales pesados se vio significativamente modificado por la actividad de *E.fetida*. Los valores de potasio no se vieron significativamente alterados por la presencia de la lombriz, pero sí lo hicieron los de fósforo, con un aumento del 2,64% en presencia de la lombriz con respecto a las muestras con ausencia de lombriz.

En el caso del índice de germinación (IG), el ANOVA indica una relación significativa débil, para la presencia/ausencia de lombriz. Al final del ensayo se obtuvo un mayor valor de IG para las muestras compostadas en ausencia de *Eisenia* que en las muestras vermicompostadas. En todos los casos la media de los valores obtenidos supera el 80%, lo cual indica ausencia de fitotoxicidad (Zucconi, Monaco y Forte 1984). Este comportamiento está de acuerdo con lo reportado por otros autores, que encuentran un descenso en la IG durante las dos primeras semanas de vermicompostaje de residuos de comida, debido al aumento de la salinidad derivado de la alta actividad hidrolítica promovida por la lombriz (Majlessi y col. 2012).

En otros estudios se ha reportado la capacidad de *Eisenia* (Nogales y col. 2020)(Villar y col. 2016) para la eliminación de sustancias fitotóxicas tales como compuestos fenólicos, reducción de la disponibilidad de metales pesados, degradación de ácidos grasos, etc. Probablemente un proceso de vermicompostaje más prolongado de los composts testados mejorara los valores de IG.

Variable	Dens (g /kg)	pH	CE (dS/ m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/ kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	Cd (mg/ kg)	Cu (mg/ kg)	Ni (mg/ kg)	Pb (mg/ kg)	Zn (mg/ kg)	Cr (mg/ kg)	K (%)	P (%)
<b>Con E.fetida</b>	730 a	8.12 a	3.78	44.1 a	84.9 a	1000	2.11	30.7 a	14.8 a	0.38	122	15.9	55.9 a	554	42.0	1.49	3.98 a
<b>Sin E.fetida</b>	635 b	7.91 b	3.06	58.5 b	92.0 b	1008	2.14	34.0 b	16.5 b	0.58	119	18.3	73.9 b	312	41.3	1.37	1.34 b
<b>F-ANOVA</b>	15.1 ***	11.5 ***	2.82 ns	166 ***	4.07 *	1.04 ns	0.38 ns	30.4 ***	34.7 ***	2.28 ns	0.16 ns	3.25 ns	4.35 *	0.56 ns	1.48 ns	0.96 ns	19.2 ***

Tabla 6. Significancia de la presencia de *E.fetida* en los composts. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

Respecto a los datos obtenidos de forma individual de cada muestra, se observan diferencias entre muestras del mismo tipo o naturaleza. Las muestras de residuos agroalimentarios mostraron valores significativamente más bajos de materia orgánica total para los casos de *E.fetida*. Además, el potasio se redujo menos, de manera significativa, en AGL-1 con presencia *E.fetida* y, a pesar de que estadísticamente no fuera significativo, ocurre lo mismo en AGL-2. (Tabla 7) (Tabla 13). Como se menciona anteriormente, la falta de materia orgánica disponible para *E.fetida* en este tipo de muestras puede haber llevado a los individuos a sufrir una mayor disminución de su biomasa corporal debido al menor valor nutricional de los compost realizados a partir de este tipo de residuos.

AGL-1	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg g)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
<b>0 d</b>	872 c	9.30 b	4.70	44.3 b	73.3 a	2766 c	2.13 c	35.3 a	16.6 a	2.34	0.47 c
<b>30 d E.fetida</b>	564 b	9.30 b	3.43	30.0 a	77.6 b	2243 a	1.78 b	37.6 a	21.3 b	2.01	0.38 b
<b>30 d no E.fetida</b>	461 a	9.10 a	3.67	70.8 c	78.0 b	3200 c	1.57 a	41.9 b	26.6 c	2.26	0.29 a
<b>F ANOVA</b>	746 ***	14.7 **	2.84 ns	332 ***	9.43 *	35.4 ***	28.5 ***	24.3 ***	44.5 ***	4.07 ns	18.0 **

Tabla 7. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost AGL-1. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

Los composts mixtos (Tablas 8 a 12) ofrecieron pocos cambios en el pH entre los tratamientos mediante compostaje o vermicompostaje, con la excepción de MIX-3, cuyo pH aumentó a los 30 días en presencia de la lombriz. El índice de germinación de los composts aumentó en la mayoría de los casos, aunque generalmente no tanto como en los casos sin la lombriz. En la mayor parte de

las muestras de este tipo se produjo un incremento relevante en el porcentaje de potasio que superó al obtenido en la alternativa sin lombrices.

MIX-1	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
<b>0 d</b>	829 c	8,80 b	3,67 b	57,9 c	85,3 a	986 c	2,07 b	27,0 a	13,1 a	1,26 b	0,45 b
<b>30 d <i>E.fetida</i></b>	648 b	8,78 b	3,10 ab	54,7 b	93,0 b	769 a	1,98 b	28,4 a	14,5 b	1,34 c	0,50 c
<b>30 d no <i>E.fetida</i></b>	601 a	8,50 a	1,90 a	48,8 a	104 c	911 b	1,67 a	29,3 a	17,7 c	0,94 a	0,39 a
<b>F ANOVA</b>	123 ***	80,5 ***	5,93 *	391 ***	160 ***	112 ***	6,66 *	1,57 ns	123 ***	115 ***	22,4 ***

Tabla 8. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost MIX-1. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

MIX-2	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
<b>0 d</b>	633 a	8.60	3.20	43.9	103	1053 a	2.27 a	29.7	13.2 b	141 b	0.69 c
<b>30 d <i>E.fetida</i></b>	594 a	8.45	3.95	50.5	93.5	1021 a	2.50 ab	33.0	13.3 b	1.30 a	0.60 a
<b>30 d no <i>E.fetida</i></b>	832 b	8.53	3.63	47.9	92.9	1482 b	2.67 b	30.6	11.4 a	1.30 a	0.63 b
<b>F ANOVA</b>	106 ***	2.43 ns	1.22 ns	3.53 ns	3.35 ns	147 ***	5.54 *	3.54 ns	6.12 *	522 ***	61.3 ***

Tabla 9. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost MIX-2. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

MIX-3	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
<b>0 d</b>	926 b	8,60 b	3,10	64,4 c	97,8 a	848 b	2,07	26,0 a	12,6 a	1,00	0,54
<b>30 d <i>E.fetida</i></b>	740 a	9,60 b	2,62	56,2 b	105,5 b	643 a	1,98	24,7 a	12,5 a	1,02	0,52
<b>30 d no <i>E.fetida</i></b>	791 a	8,20 a	2,20	40,7 a	106,6 b	725 a	1,90	33,9 b	17,9 b	1,09	0,54
<b>F ANOVA</b>	25,8 ***	58,8 ***	1,55 ns	371 ***	23,1 ***	12,4 **	1,97 ns	89,3 ***	247 ***	2,27 ns	1,53 ns

Tabla 10. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost MIX-3. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

MIX-4	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
0 d	816 b	8,60 b	3,30	58,7 c	86,7 a	919	2,47 c	28,4	11,5 a	1.23 b	0.62 c
30 d <i>E.fetida</i>	724 a	8,70 c	3,00	55,2 b	93,3 b	713	1,80 a	27,5	15,0 c	1.07 a	0.46 a
30 d no <i>E.fetida</i>	702 a	8,27 a	2,20	46,8 a	110 c	710	2,20 b	29,7	13,7 b	1.01 a	0.57 b
F ANOVA	14,1 **	177 ***	2,81 ns	79,1 ***	68,3 ***	2,32 ns	31,9 ***	3,06 ns	40,8 ***	40,8 ***	112 ***

Tabla 11. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost MIX-4. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

MIX-5	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
0 d	860	8.40 ab	4.63 b	48,4	82,4 b	1327	2,20	30,4 ab	13,9	1.57 b	0.62
30 d <i>E.fetida</i>	733	8,70 c	3,58 a	48,6	69,0 a	1331	2,04	29,8 a	14,8	1.43 b	0.57
30 d no <i>E.fetida</i>	749	8,27 a	3,30 a	49,4	100 c	976	2,37	31,8 b	13,8	1.20 a	0.60
F ANOVA	3.31 ns	5.90 *	6.49 *	0.08 ns	29.8 ***	1.71 ns	2.72 ns	4.55 *	0.62 ns	10.8 **	0.95 ns

Tabla 12. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost MIX-5. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

AGL-2	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
0 d	677 b	8,90 b	2,90 c	25,1 a	86,6 b	2735 c	2,70 b	42,1 a	15,7 b	1.75 c	0.52 b
30 d <i>E.fetida</i>	539 a	9,30 c	2,20 a	23,8 a	84,8 a	2395 b	2,20 a	42,1 a	19,5 a	1.53 b	0.42 a
30 d no <i>E.fetida</i>	524 a	8,47 a	2,40 b	77,4 b	95,0 c	1952 a	1,83 a	45,5 b	15,7 a	1.36 a	0.41 a
F ANOVA	61,0 ***	627 ***	151 ***	2585 ***	4065 ***	29,7 ***	16,1 **	50,0 ***	11,1 **	30.89 ***	24.8 ***

Tabla 13. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost AGL-2. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

Los composts ganaderos han mostrado cambios relevantes en su pH en todos los casos excepto GAN-1. En GAN-2, GAN-3, GAN-4 y GAN-6 el pH aumentó menos en los composts sin *E.fetida*, mientras que en GAN-4, GAN-7 y GAN-8 el pH aumentó más tras el vermicompostaje. Probablemente este incremento se deba a la actividad de la microbiota que utiliza la fracción carbono de los aminoácidos como fuente de energía, produciendo amonio que causa un incremento en el pH. Todas las muestras aumentaron su densidad tras 30 días, y más en el caso de haber estado en contacto con *E.fetida*. El fósforo fue superior en todas las muestras con lombrices y el potasio también, aunque no estadísticamente relevante en GAN-1 y GAN-8. En todas las muestras, excepto GAN-8, se redujo considerablemente más la materia orgánica total en las muestras de *E.fetida* respecto a las muestras sin ella (Tablas 14 a 21).

GAN-1	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
<b>0 d</b>	604 a	6,70	6,55 b	41,4 a	81,6 a	568 c	2,74 b	32,6 b	11,9 a	1,67 b	4,19 ab
<b>30 d <i>E.fetida</i></b>	714 c	6,77	5,91 b	41,7 a	115 c	413 a	2,52 a	30,4 a	12,1 a	1,53 ab	6,02 b
<b>30 d no <i>E.fetida</i></b>	667 b	6,70	4,35 a	61,6 b	91,5 b	467 b	2,57 b	34,2 c	12,9 b	1,47 a	3,11 a
<b>F ANOVA</b>	23,6 ***	1,66 ns	7,04 *	1238 ***	50,3 ***	35,5 ***	24,5 ***	241 ***	12,1 **	4,44 ns	6,56 *

Tabla 14. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost GAN-1. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

GAN-2	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
<b>0 d</b>	570 a	6,70 a	6,23 b	43,1 b	58,9 a	1200 b	2,74 c	33,1 a	12,1 a	2,05 b	9,74 c
<b>30 d <i>E.fetida</i></b>	721 c	6,81 b	6,08 b	40,5 a	58,4 a	462 a	2,52 b	30,7 a	12,1 a	1,86 b	7,32 b
<b>30 d no <i>E.fetida</i></b>	635 b	7,05 c	4,55 a	65,0 c	97,7 b	539 a	2,22 a	36,3 b	16,4 b	1,41 a	2,39 a
<b>F ANOVA</b>	26,2 ***	131 ***	14,2 **	4507 ***	222 ***	16,7 **	481 ***	17,8 **	47,9 ***	33,1 ***	45,4 ***

Tabla 15. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost GAN-2. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

GAN-3	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
<b>0 d</b>	593 a	7,28 b	4,96 ab	40,6 a	45,7 a	1029 c	2,30 a	34,4 c	15,0 c	1.86 b	7.71 b
<b>30 d E.fetida</b>	825 b	7,07 a	5,37 b	39,5 a	73,1 b	595 a	2,36 a	30,0 a	12,7 a	1.70 b	9.06 b
<b>30 d no E.fetida</b>	628 a	7,20 b	3,30 a	62,5 b	91,3 c	621 b	2,47 b	33,0 b	13,3 b	1.43 a	2.10 a
<b>F ANOVA</b>	186 ***	17,6 **	5,22 *	436 ***	8349 ***	761 ***	18,7 **	81,4 ***	106 ***	17.7 **	20.6 **

Tabla 16. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost GAN-3. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

GAN-4	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
<b>0 d</b>	574 a	6,81 a	6,00 b	38,4 a	65,3 a	1262 c	2,65 c	33,7 c	12,7 a	1.99 b	5.66 b
<b>30 d E.fetida</b>	939 c	7,69 b	3,74 a	42,0 b	71,0 a	1024 b	1,99 a	31,6 a	15,9 c	1.76 b	8.41 c
<b>30 d no E.fetida</b>	680 b	7,75 b	3,50 a	64,9 c	82,8 b	719 a	2,30 b	33,1 b	14,5 b	1.37 a	2.14 a
<b>F ANOVA</b>	176 ***	199 ***	127 ***	683 ***	31,2 ***	37,2 ***	121 ***	67,2 ***	92,9 ***	15.9 **	31.9 ***

Tabla 17. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost GAN-4. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

GAN-5	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
<b>0 d</b>	599 a	7,09 a	5,59	40,5 a	56,2 a	950 a	2,38 b	33,2 b	14,0	2.04 c	4.95 b
<b>30 d E.fetida</b>	1010 b	7,75 b	3,92	38,9 a	84,3 b	1054 b	1,94 a	31,7 a	19,4	1.98 b	9.39 c
<b>30 d no E.fetida</b>	620 a	7,50 b	3,20	56,5 b	60,3 a	915 a	2,08 a	33,8 c	16,4	1.66 a	2.17 a
<b>F ANOVA</b>	59,9 ***	10,2 **	1,92 ns	5,30 *	33,5 ***	16,4 **	8,90 *	50,2 ***	4,70 ns	581 ***	31.6 ***

Tabla 18. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost GAN-5. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

GAN-6	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
0 d	565 a	7,12 a	5,67 c	41,1 a	77,1 b	1218 b	2,41 c	33,6 b	13,9 a	1,82 ab	4,57 b
30 d <i>E.fetida</i>	677 b	7,38 b	4,61 b	39,8 a	69,0 a	816 a	2,19 a	31,6 a	14,4 ab	1,93 b	7,66 c
30 d no <i>E.fetida</i>	674 b	7,50 b	3,25 a	64,0 b	84,9 c	828 a	2,28 b	33,4 b	14,6 b	1,56 a	2,32 a
F ANOVA	185 ***	29,3 ***	27,2 ***	506 ***	19,5 **	37,6 ***	53,0 ***	46,7 ***	5,50 *	5,41 *	76,0 ***

Tabla 19. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost GAN-6. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

GAN-7	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
0 d	609 a	7,34 a	4,59 b	41,2 a	77,3 b	1112 c	2,31 c	35,2 b	15,2 a	1,81 b	4,73 b
30 d <i>E.fetida</i>	784 b	7,58 b	3,86 b	39,8 a	39,8 a	801 a	2,14 b	31,9 a	15,9 a	1,69 b	7,81 c
30 d no <i>E.fetida</i>	587 a	7,45 ab	2,65 a	66,35 b	66,4 b	928 b	2,01 a	35,5 b	17,6 b	1,27 a	1,71 a
F ANOVA	250 ***	13,5 **	17,9 **	458 ***	9,33 *	23,3 ***	49,9 ***	218 ***	53,4 ***	34,7 ***	146 ***

Tabla 20. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost GAN-7. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

GAN-8	Dens (g/kg)	pH	CE (dS/m)	MOT (%)	IG (%)	PPS (mg/kg)	TN (%)	TOC (%)	CN	K (%)	P (%)
0 d	763 c	8,17 a	2,23 a	64,6 b	106 a	544 a	2,10 b	24,2 b	11,6 a	1,67 b	4,18 ab
30 d <i>E.fetida</i>	656 b	8,43 b	2,38 ab	64,4 b	112 b	690 b	1,98 a	23,0 a	11,8 b	1,53 ab	6,02 b
30 d no <i>E.fetida</i>	623 a	8,10 a	2,50 b	41,5 a	108 a	544 a	2,10 b	25,0 b	11,9 c	1,47 a	3,11 a
F ANOVA	144 ***	52,1 ***	6,90 *	2169 ***	27,3 ***	23,7 ***	17,5 **	19,4 **	63,7 ***	4,44 ns	6,56 *

Tabla 21. Significancia de la presencia de *E.fetida* en el compost GAN-8. \*: sig.<0,05; \*\*: sig.<0,01; \*\*\*: sig.<0,001; ns: no significativa.

### 4.3. Características del producto final

#### 4.3.1. Características agronómicas de los vermicomposts

Respecto a las características agronómicas, los cambios producidos durante el experimento de *E.fetida* en los composts sobre el potasio, nitrógeno y fósforo se expresan en la Tabla 22. Se puede observar una disminución del fósforo y el nitrógeno en la mayoría de los casos, con un ligero aumento en el fósforo en los composts de origen ganadero. El potasio y el nitrógeno disminuyen en todos los casos.

Promedio vermi	K inicial	K 30 d	N inicial	N 30 d	P inicial	P 30 d
<b>Agroalimentario</b>	2,04	1,77	2,41	1,98	0,50	0,40
<b>Ganadero</b>	1,82	1,59	2,45	2,21	5,28	7,04
<b>Mixto</b>	1,33	1,21	2,30	2,00	0,61	0,51

Tabla 22. Promedio de porcentaje de nitrógeno total, fósforo y potasio en el momento inicial y final del vermicompostaje

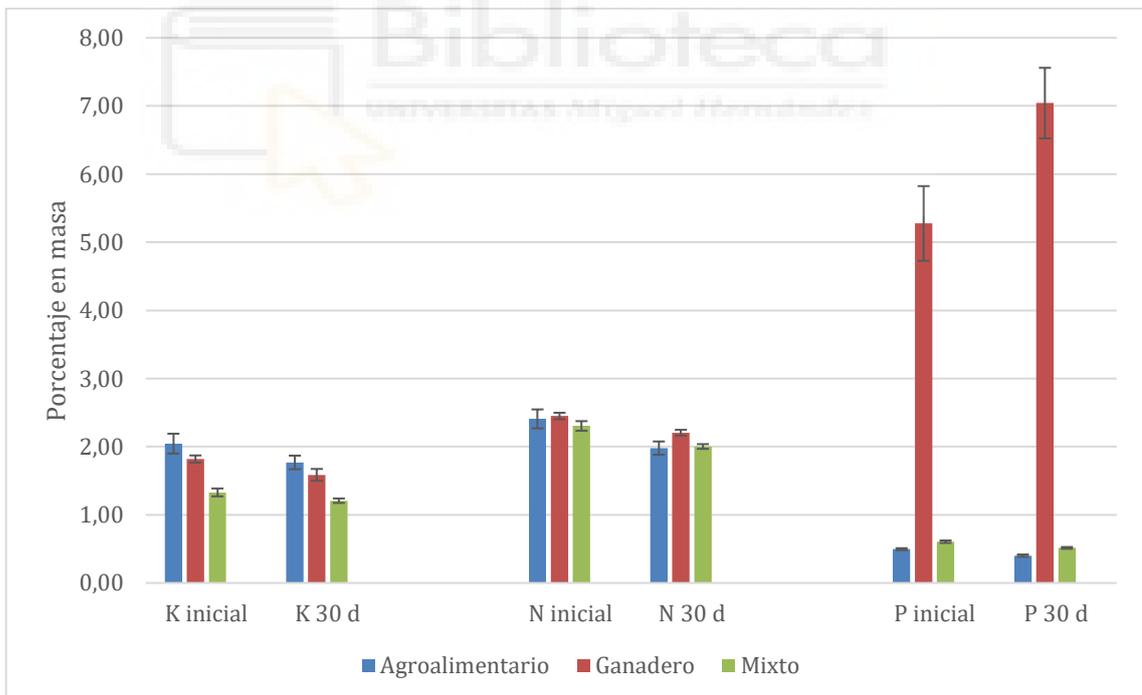


Figura 12. Porcentaje promedio en peso de nitrógeno, potasio y fósforo en el momento inicial y final del experimento con *E.fetida*.

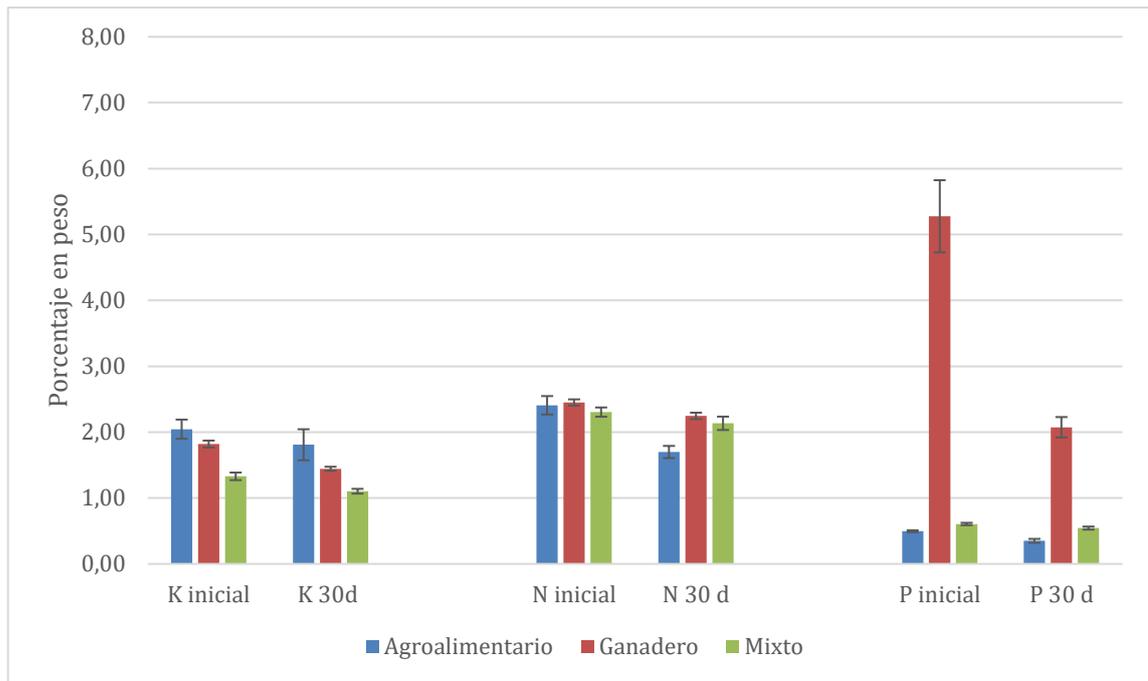


Figura 13. Porcentaje promedio en peso de nitrógeno, potasio y fósforo en el momento inicial y final del proceso normal de compostaje.

La Figura 12 muestra una disminución en el nitrógeno y el potasio respecto a las muestras iniciales en todos los casos, así como una disminución en el fósforo en las muestras de agroalimentario y mixto. Se produce un incremento en el fósforo de las muestras ganaderas a los 30 días respecto al inicial. Esto puede deberse a la actividad de las fosfatasa emitidas por las lombrices durante su digestión que ha demostrado presentar mayores niveles durante el vermicompostaje de materiales con niveles de fósforo elevados, aunque estos valores se estabilizan normalmente al final del proceso de maduración (Nogales y col. 2020).

En la Figura 13 se muestra una reducción similar a la observada en el caso con *E.fetida* del nitrógeno y el potasio en las muestras de compostaje normal. Sin embargo, en el fósforo de los composts ganaderos se produce una disminución, al contrario de lo ocurrido en el caso del experimento con las lombrices.

#### 4.3.2. Estudio económico del producto obtenido

Asumiendo un 25% de humedad del producto al ser comercializado, se ha calculado el valor nutricional promedio de cada tipo de compost. Se han ajustado los porcentajes de fósforo y potasio a porcentaje de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  multiplicándolos por 2,29 y 1,21 respectivamente, según la metodología descrita en Reiter 2020.

En la Tabla 23 se muestran los valores de nitrógeno, fósforo y potasio de cada tipo de compost y con cada tipo de tratamiento. Los valores de nitrógeno finales en los composts con y sin *E.fetida* fueron similares. Sin embargo, se encuentran grandes diferencias en los valores finales de K<sub>2</sub>O de las tres fuentes. El porcentaje en peso de K<sub>2</sub>O en el compost final sin lombrices es muy superior al encontrado en el compost con *E.fetida*, que disminuyó con respecto al momento inicial. Se dan disminuciones similares para el nitrógeno y el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en presencia de la lombriz. Los valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> finales en los composts ganaderos aumentaron, a diferencia de los procedentes de las otras dos fuentes, correlacionándose con el importante aumento de fósforo que se ilustra en la Figura 12. Para los composts mixtos, el nitrógeno y el P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de los casos con lombrices fueron inferiores a los casos sin ellas. Los valores de nitrógeno y K<sub>2</sub>O obtenidos tras la actividad de *E.fetida* fueron muy similares a los obtenidos sin la actividad de la lombriz.

Los valores obtenidos en los nutrientes nos sugieren que el producto obtenido tras el uso de lombrices contiene unos valores nutricionales equilibrados (Agroalimentario N-1,5%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-0,9%, K<sub>2</sub>O- 1,6%; Ganadero N-1,7%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-12,1%, K<sub>2</sub>O-1,4%; Mixto N-1,5%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-0,88%, K<sub>2</sub>O-1,1%), con excepción de los composts ganaderos, cuyos valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumentan. Otros autores indican que era esperable que se produjera un incremento en la concentración de fósforo al compostar debido a la descomposición de la materia orgánica (Lü y col. 2013), pero se ha considerado destacable que en las muestras de composts ganaderos con *E.fetida* los valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aumentaron respecto a los iniciales mientras que en el caso sin lombrices disminuyeron.

Generalmente, los valores nutricionales a los 30 días con lombrices fueron ligeramente superiores a los de los casos de 30 días sin lombrices.

	N inicial	N 30d V	N 30d	P2O5 inicial	P2O5 30d V	P2O5 30d	K2O inicial	K2O 30d V	K2O 30d
<b>Agroalimentario</b>	1,81	1,48	1,27	0,85	0,69	0,60	1,86	1,61	1,64
<b>Ganadero</b>	1,84	1,65	1,68	9,06	12,09	3,56	1,65	1,44	1,31
<b>Mixto</b>	1,73	1,50	1,60	1,04	0,88	0,93	1,21	1,10	1,00

Tabla 23. Contenido en nutrientes medio en porcentaje de peso de cada tipo. Se ha asumido una humedad del 25%.

A partir de los valores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y nitrógeno se han deducido las Unidades Fertilizantes (FU) de media en cada uno de los tipos de composts y de ambos tratamientos tomando como precio de las unidades fertilizantes los de la urea, el DAP y el cloruro potásico a fecha de febrero de 2022 (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación 2020) (Pelegrín y col. 2018).

FU (€/tn)	N inicial	N 30d V	N 30d	P2O5 inicial	P2O5 30d V	P2O5 30d	K2O inicial	K2O 30d V	K2O 30d
Agroalimentario	36,2	29,8	25,5	17,1	13,8	12,1	37,2	32,2	32,9
Ganadero	32,9	29,9	30,1	162	216	63,7	29,5	25,8	23,4
Mixto	23,0	20,0	21,3	13,8	11,8	12,4	16,1	14,6	13,3

Tabla 24. Valor medio por tipo de compost en unidades fertilizantes dependiendo del tratamiento.

Valor FU total (€/tn)	Con <i>E.fetida</i> (Vermicompost)	Sin <i>E.fetida</i> (Compost)	Mejora por <i>E.fetida</i>
Agroalimentario	75,73	70,49	5,24
Ganadero	271,59	117,25	154,34
Mixto	46,31	47,04	-0,72

Tabla 25. Valor total de unidades fertilizantes de media en los composts y balance entre *E.fetida* o su ausencia.

Tal y como se observa en la Tabla 24, los composts adquieren algo de valor por las FU en la mayoría de los casos con tratamiento de *E.fetida*. El balance de ganancia de FU se representa en la Tabla 25. Tanto en los composts agroalimentarios como ganaderos se produce una ganancia (Agroalimentario +5,24 €/tn; Ganadero +154,34 €/tn), mientras que en los mixtos se pierden FU con el tratamiento de *E.fetida* (-0,72 €/tn) en comparación al resultado en caso de no realizarse. Por otro lado, la ganancia económica en el tratamiento con lombrices para el compost ganadero es muy grande frente a la alternativa.

Respecto a la clasificación legal de los metales pesados de las muestras, la Tabla 26 muestra el rango en el que se incluye cada metal para cada muestra y la clasificación final del composts. Como se comenta anteriormente, *E.fetida* no tiene una relación estadísticamente significativa con los cambios de la concentración de los metales en los composts finales, por lo que no se aprecian diferencias significativas entre la clasificación de metales pesados entre los composts con lombrices y sin ellos. Sin embargo, se observa un exceso de zinc en la mayoría de los composts ganaderos que les clasifica como tipo C.

Muestra	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Cr	Clase metal
AGL-1 T0 V	A	A	A	A	A	A	A
MIX-1 T0 V	B	B	B	NO	B	B	NO
MIX-2 T0 V	B	B	A	C	B	A	C
MIX-3 T0 V	B	B	B	NO	B	B	NO
MIX-4 T0 V	B	B	B	NO	B	A	NO
MIX-5 T0 V	B	B	A	C	B	A	C
AGL-2 T0 V	A	A	A	A	B	A	B
GAN-8 T0 V	A	B	A	A	A	B	B
AGL-1 T30 V	A	A	A	A	A	A	A
MIX-1 T30 V	B	B	A	B	B	A	B
MIX-2 T30 V	B	B	B	B	B	B	B
MIX-3 T30 V	B	B	B	C	B	B	C
MIX-4 T30 V	B	B	B	B	B	B	B
MIX-5 T30 V	B	B	A	C	B	A	C
AGL-2 T30 V	A	A	A	B	B	A	B
GAN-8 T30 V	A	A	A	A	A	A	A
GAN-1 T0 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-2 T0 V	NO	B	A	A	C	A	NO
GAN-3 T0 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-4 T0 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-5 T0 V	A	B	A	A	NO	A	NO
GAN-6 T0 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-7 T0 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-1 T30 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-2 T30 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-3 T30 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-4 T30 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-5 T30 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-6 T30 V	A	B	A	A	C	A	C
GAN-7 T30 V	A	B	A	A	C	A	C
AGL-1 T30	A	A	A	A	A	A	A
MIX-1 T30	A	B	B	B	B	A	B
MIX-2 T30	B	B	B	C	B	A	C
MIX-3 T30	B	B	B	C	B	B	C
MIX-4 T30	B	B	B	NO	B	B	NO
MIX-5 T30	B	B	B	NO	B	A	NO
AGL-2 T30	A	A	A	A	A	A	A
GAN-1 T30	A	B	A	A	NO	A	NO
GAN-2 T30	A	B	A	A	C	A	C
GAN-3 T30	A	B	A	A	C	A	C
GAN-4 T30	A	B	A	A	C	A	C
GAN-5 T30	A	B	A	A	C	A	C
GAN-6 T30	A	B	A	A	C	A	C
GAN-7 T30	A	B	A	A	C	A	C
GAN-8 T30	B	A	A	A	A	A	B

Tabla 26. Clasificación por metales pesados de las muestras de compost. NO: fuera de rango legal.

## CONCLUSIONES





## 5. Conclusiones

Los resultados obtenidos nos permiten ordenar los composts de distinta naturaleza testados como de mayor a menor idoneidad para ser sometidos a post-tratamiento mediante vermicompostaje con *Eisenia fetida*.

Ganaderos > Agroalimentarios > Mixtos > Urbanos

El compost de origen urbano ha demostrado tener un impacto muy negativo en la supervivencia y el peso de los individuos de *Eisenia* debido a la baja estabilidad/madurez alcanzada durante el tratamiento de compostaje. Además, aunque la supervivencia en los composts mixtos es mayor que en los composts urbanos, la pérdida de peso observada es considerable. Es en los composts de origen agroindustrial y ganadero donde se obtuvo una mayor supervivencia acompañada de una ganancia de la biomasa de *Eisenia* al final del ensayo. Es posible que esto se deba a una mayor proporción de materia orgánica lábil de fácil acceso en estos tipos de compost, en contraposición a una mayor cantidad de material lignocelulósico e incluso presencia de impurezas inorgánicas en los composts de origen mixto y urbano.

Respecto a la evolución de los parámetros físico-químicos clave, en todos los materiales testados, excepto en los composts urbanos, la combinación de tratamiento de compostaje-vermicompostaje produjo cambios en la materia orgánica total y la relación Carbono/Nitrógeno estadísticamente significativos, demostrando la capacidad de este tipo de compost de mantener la normal actividad metabólica y fisiológica de *Eisenia fetida*, promoviendo una mayor actividad degradativa del sustrato si lo comparamos con la alternativa de tratamiento mediante compostaje.

Las características agronómicas de los vermicomposts se vieron muy influenciadas por la presencia de esta especie de lombriz epigea, obteniéndose valores de nitrógeno, fósforo y potasio en su mayoría superiores frente a los obtenidos en sus contrapartes sin lombrices (compost), pero se dieron incrementos en las concentraciones de fósforo exclusivamente en los vermicomposts ganaderos sobre los que se utilizó *E.fetida*. Esto indica la posibilidad de utilizar a la especie para mejorar nutricionalmente los composts, pero deben vigilarse posibles interacciones como la ocurrida con el fósforo, que pueden desbalancear el valor nutricional del producto obtenido.

Al comparar los precios de los nutrientes en el mercado actual se ha observado que, para los casos de composts ganaderos y agroalimentarios, el post-tratamiento de vericompostaje con *E.fetida* es económicamente positivo, con mucho más incremento de beneficio en los composts ganaderos, mientras que el mismo post-tratamiento en los composts mixtos ha resultado en una ligera pérdida de UF. Esto plantea la posibilidad de realizar estudios más centrados en los tipos de composts y sus composiciones para identificar posibles escenarios donde se obtenga un beneficio.

De forma resumida, las conclusiones finales obtenidas en este proyecto serían las siguientes:

- El post-tratamiento ha demostrado no tener apenas supervivencia de los individuos en los composts urbanos.
- Las mejores tasas de supervivencia a los 30 días y de peso por individuo se obtuvieron en los composts ganaderos.
- El tratamiento mostró cambios significativos en la materia orgánica total, el carbono orgánico extraíble, la relación Carbono/Nitrógeno.
- Los valores de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, así como de nutrientes relacionados se vieron alterados por la presencia de *E.fetida*, incrementando sus valores en su mayoría, con especial impacto en el fósforo de los composts ganaderos.
- Los metales pesados, los cuales podrían ser limitantes a la hora de comercializar los vermicompost, no se vieron afectados por el proceso de vermicompostaje de forma significativa, estando estas limitaciones relacionadas con el contenido en metales de los materiales de partida.
- Se obtuvo un incremento de las unidades fertilizantes de los composts y su valor económico estimado en los casos agroalimentarios y ganaderos, de entre los cuales destacan mucho más los ganaderos.
- La mejora mediante *E.fetida* parece prometedora en los composts de origen ganadero y se plantea la posibilidad para composts agroalimentarios, para lo cual se necesitarían más estudios al respecto. Queda generalmente descartada en los composts mixtos y urbanos.

## BIBLIOGRAFÍA



Biblioteca  
UNIVERSIDAD Miguel Hernández



## 6. Bibliografía

- ABID, N. y SAYADI, S., 2006. Detrimental effects of olive mill wastewater on the composting process of agricultural wastes. *Waste Management*, vol. 26, no. 10, pp. 1099-1107. ISSN 0956053X. DOI 10.1016/j.wasman.2005.06.015.
- BOE, 2013. Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. *Boletín Oficial del Estado (BOE)*, vol. 1855, pp. 1-65. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-7540>.
- CASTILLO, A.E., QUARÍN, S.H. y IGLESIAS, M.C., 2000. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE COMPOST DE LOMBRICES ELABORADOS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS PUROS Y COMBINADOS. *Agricultura Técnica*, vol. 60, no. 1, pp. 74-79. ISSN 0365-2807. DOI 10.4067/s0365-28072000000100008.
- COOPERBAND, L., 2002. The Art and Science of Composting A resource for farmers and compost producers. *University of Wisconsin-Madison, Center for Integrated Agricultural Systems*, pp. 1-14.
- DÉPORTES, I., BENOIT-GUYOD, J.L. y ZMIROU, D., 1995. *Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review*. 30 noviembre 1995. S.I.: Elsevier.
- DOMÍNGUEZ, J., EDWARDS, C.A. y SUBLER, S., 1997. A comparison of vermicomposting and composting methods to process animal wastes. *Biocycle*, vol. April, no. April, pp. 57-59.
- ESTRUCPLAN, 2000. Compostaje industrial. *Estrucplan*. [Consulta: 25 mayo 2022]. Disponible en: <https://estrucplan.com.ar/compostaje-industrial/>.
- FITZPATRICK, G.E., WORDEN, E.C. y VENDRAME, W.A., 2005. Historical development of composting technology during the 20th century. *HortTechnology*. S.I.: American Society for Horticultural Science, pp. 48-51. DOI 10.21273/horttech.15.1.0048.
- FORNES, F., MENDOZA-HERNÁNDEZ, D., GARCÍA-DE-LA-FUENTE, R., ABAD, M. y BELDA, R.M., 2012. Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresource Technology*, vol. 118, pp. 296-305. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2012.05.028.
- GELER, A., 2013. La Lombricultura. *Compostadores*, pp. 2. [Consulta: 25 mayo

- 2022]. Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/vermicompostaje/172-la-lombricultura.html>.
- GOLUEKE, C.G. y DIAZ, L.F., 1990. Understanding the basics of composting. *BioCycle*, vol. 31, no. 4, pp. 56-59. ISSN 02765055. Disponible en: <https://p2infohouse.org/ref/33/32512.pdf>.
- HUBBE, M.A., NAZHAD, M. y SÁNCHEZ, C., 2010. Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. *BioResources*, vol. 5, no. 4, pp. 2808-2854. ISSN 19302126. DOI 10.15376/biores.5.4.2808-2854.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y INEBASE, 2019. ESTADÍSTICA SOBRE RECOGIDA Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS. Cantidad de residuos urbanos recogidos. [Consulta: 25 mayo 2022]. Disponible en: <https://pegv.gva.es/es/temas/territorioymedioambiente/medioambiente/gastoenprotecciondelmedioambiente>.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y INEBASE, 2022. Cantidad de residuos generados por actividad económica (CNAE-2009), clase de residuo y tipo de peligrosidad. *Resultados nacionales (2012-2018)*. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.ine.es/jaxi/Datos.htm?tpx=30628>.
- LASARIDI, K., PROTOPAPA, I., KOTSOU, M., PILIDIS, G., MANIOS, T. y KYRIACOU, A., 2006. Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. *Journal of Environmental Management*, vol. 80, no. 1, pp. 58-65. ISSN 03014797. DOI 10.1016/j.jenvman.2005.08.011.
- LAZCANO, C., GÓMEZ-BRANDÓN, M. y DOMÍNGUEZ, J., 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, vol. 72, no. 7, pp. 1013-1019. ISSN 00456535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2008.04.016.
- LÜ, D. an, YAN, B. xing, WANG, L. xia, DENG, Z. qiang y ZHANG, Y. bin, 2013. Changes in phosphorus fractions and nitrogen forms during composting of pig manure with rice straw. *Journal of Integrative Agriculture*, vol. 12, no. 10, pp. 1855-1864. ISSN 20953119. DOI 10.1016/S2095-3119(13)60400-1.
- MACCI, C., MASCIANDARO, G. y CECCANTI, B., 2010. Vermicomposting of olive oil mill wastewaters. *Waste Management and Research*, vol. 28, no. 8, pp. 738-747. ISSN 10963669. DOI 10.1177/0734242X09345278.

- MAEDA, K., HANAJIMA, D., TOYODA, S., YOSHIDA, N., MORIOKA, R. y OSADA, T., 2011. *Microbiology of nitrogen cycle in animal manure compost*. 1 noviembre 2011. S.I.: John Wiley & Sons, Ltd.
- MAJLESSI, M., ESLAMI, A., NAJAFI SALEH, H., MIRSHAFIEEAN, S. y BABAIL, S., 2012. Vermicomposting of food waste: Assessing the stability and maturity. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 9, no. 25, pp. 1-6. ISSN 17351979. DOI 10.1186/1735-2746-9-25.
- MARTÍNEZ-GALLARDO, M.R., LÓPEZ, M.J., JURADO, M.M., SUÁREZ-ESTRELLA, F., LÓPEZ-GONZÁLEZ, J.A., SÁEZ, J.A., MORAL, R. y MORENO, J., 2020. Bioremediation of Olive Mill Wastewater sediments in evaporation ponds through in situ composting assisted by bioaugmentation. *Science of the Total Environment*, vol. 703, pp. 135537. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.135537.
- MIKOLIC, C., ANDREONI, I., RUFFINELLI, S., GÓMEZ, A., DÁRDANO, B., BASILE, D. y JORGE ESCUDERO, G., 2018. Manual De Vermicompostaje: Cómo reciclar nuestros residuos orgánicos. *Montevideo Ambiente*, vol. 1, pp. 1-208. [Consulta: 25 mayo 2022]. Disponible en: <https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2020. Índices y Precios Pagados Agrarios. S.I.: [Consulta: 21 junio 2022]. Disponible en: <https://cpage.mpr.gob.es/>.
- NAVARRO, A.F., CEGARRA, J., ROIG, A. y BERNAL, M.P., 1991. An automatic microanalysis method for the determination of organic carbon in wastes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 22, no. 19-20, pp. 2137-2144. ISSN 15322416. DOI 10.1080/00103629109368563.
- NOGALES, R., FERNÁNDEZ-GÓMEZ, M.J., DELGADO-MORENO, L., CASTILLO-DÍAZ, J.M. y ROMERO, E., 2020. Eco-friendly vermitechnological winery waste management: a pilot-scale study. *SN Applied Sciences*, vol. 2, no. 4, pp. 1-13. ISSN 25233971. DOI 10.1007/s42452-020-2455-3.
- PANDIT, N. y MAHESHWARI, S., 2012. Optimization of vermicomposting technique for sugarcane waste management by using *Eisenia fetida*. *Int J Biosci*, vol. 2, no. 10, pp. 143-155.

- PELEGRÍN, M., SÁEZ-TOVAR, J.A., ANDREU-RODRÍGUEZ, J., PÉREZ-MURCIA, M.D., MARTÍNEZ-SABATER, E., MARHUENDA-EGEA, F.C., PÉREZ-ESPINOSA, A., BUSTAMANTE, M.A., AGULLÓ, E., VICO, A., PAREDES, C. y MORAL, R., 2018. Composting of the invasive species *Arundo donax* with sewage and agri-food sludge: Agronomic, economic and environmental aspects. *Waste Management*, vol. 78, pp. 730-740. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2018.06.029.
- REITER, M., 2020. Conversion Factors Needed for Common Fertilizer Calculations. , pp. 1-4.
- SHARMA, K. y GARG, V.K., 2019. Recycling of lignocellulosic waste as vermicompost using earthworm *Eisenia fetida*. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 14, pp. 14024-14035. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-019-04639-8.
- TOGNETTI, C., LAOS, F., MAZZARINO, M.J. y HERNÁNDEZ, M.T., 2005. Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost Science and Utilization*, vol. 13, no. 1, pp. 6-13. ISSN 1065657X. DOI 10.1080/1065657X.2005.10702212.
- UNIVERSITAT MIGUEL HERNÁNDEZ, 2019. ¿Qué son los residuos orgánicos? ¿Cómo es el tratamiento de residuos? *Universitat Miguel Hernández*. [Consulta: 3 junio 2022]. Disponible en: <https://masterresiduos.umh.es/2019/05/14/que-son-los-residuos-organicos-como-es-el-tratamiento-de-residuos/>.
- VILLAR, I., ALVES, D., PÉREZ-DÍAZ, D. y MATO, S., 2016. Changes in microbial dynamics during vermicomposting of fresh and composted sewage sludge. *Waste Management*, vol. 48, pp. 409-417. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2015.10.011.
- VILLEGAS-CORNELIO, V.M. y LAINES CANEPA, J.R., 2017. Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícola*, vol. 8, no. 2, pp. 393-406. ISSN 2007-0934. DOI 10.29312/remexca.v8i2.59.
- YADAV, A. y GARG, V.K., 2011. Vermicomposting - An effective tool for the management of invasive weed *Parthenium hysterophorus*. *Bioresource Technology*, vol. 102, no. 10, pp. 5891-5895. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2011.02.062.

- ZAINUDIN, M.H.M., ZULKARNAIN, A., AZMI, A.S., MUNIANDY, S., SAKAI, K., SHIRAI, Y. y HASSAN, M.A., 2022. *Enhancement of Agro-Industrial Waste Composting Process via the Microbial Inoculation: A Brief Review*. 14 enero 2022. S.l.: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- ZUCCONI, F., MONACO, A. y FORTE, M., 1984. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. *Composting of Agricultural and Other Wastes*. S.l.: s.n., pp. 73-86.





ANEXOS



Biblioteca  
UNIVERSITATIS Alfonsi Herminiani



Anexo 1: Metales pesados de las muestras de compost en T0 y T30

AGL-1	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	0.10 b	40.8 b	10.3 b	10.9 c	89.7 c	34.9 b
30 d <i>E.fetida</i>	0.10 b	32.0 a	8.80 b	7.08 b	70.6 b	29.9 b
30 d no <i>E.fetida</i>	0.00 a	30.0 a	5.17 a	4.20 a	44.3 a	14.1 a
F ANOVA	10 <sup>30</sup> ***	36 ***	27.2 ***	162 ***	77.4 ***	27.7 ***

MIX-1	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	0,967 c	123 b	30,7 b	302 a	357 b	76,9 b
30 d <i>E.fetida</i>	0,80 b	115 b	26,1 ab	128 a	323 b	57,7 a
30 d no <i>E.fetida</i>	0,60 a	93,6 a	22,6 a	302 b	223 a	62,9 a
F ANOVA	106 ***	40,3 ***	8,15 *	137 ***	30,9 ***	13,7 **

MIX-2	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	1.00	134 a	28.2 b	127	326 a	70.8 b
30 d <i>E.fetida</i>	0.85	126 a	29.5 b	176	326 a	66.2 b
30 d no <i>E.fetida</i>	0.90	166 b	19.4 a	177	414 b	49.9 a
F ANOVA	1.24 ns	104 ***	19.6 **	2.86 ns	166 ***	8.13 *

MIX-3	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	1,90 b	174 b	40,0 b	207 b	388	105 b
30 d <i>E.fetida</i>	1,10 a	162 ab	36,5 ab	161 a	369	82,2 a
30 d no <i>E.fetida</i>	1,17 a	149 a	28,6 a	162 a	350	79,9 a
F ANOVA	5,74 *	6,61 *	745 *	7,19 *	3,27 ns	6,82 *

MIX-4	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	1,10 b	168 c	30,7	317 c	416 c	63,5 a
30 d <i>E.fetida</i>	1,03 ab	135 a	32,8	113 a	315 a	91,6 b
30 d no <i>E.fetida</i>	0,933 a	155 b	34,2	250 b	344 b	72,4 a
F ANOVA	10,3 **	30,8 ***	1,12 ns	41,9 ****	159 ***	8,62 *

MIX-5	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	1,10 a	206 b	22.2 b	164 a	411 b	57.5
30 d <i>E.fetida</i>	1,00 a	150 a	16.8 a	170 a	338 a	53.6
30 d no <i>E.fetida</i>	1,40 b	149 a	28.2 c	269 b	318 a	60.2
F ANOVA	12.2 **	6.24 *	23.0 ***	6.86 *	7.45 *	2.78 ns

AGL-2	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	0,233	59,5 c	6,87	20,2	306 c	18,5
30 d <i>E.fetida</i>	0,200	48,7 b	7,28	63,2	250 b	20,1
30 d no <i>E.fetida</i>	0,200	53,2 a	7,48	28,6	131 a	16,7
F ANOVA	1,23 ns	46,5 ***	0,28 ns	3,74 ns	137 ***	1,20 ns

GAN-1	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	0,00 a	152 a	6,70 a	4,19 a	952 a	16,8 a
30 d <i>E.fetida</i>	0,00 a	142 a	8,07 a	6,02 b	891 a	18,3 a
30 d no <i>E.fetida</i>	0,28 b	178 b	12,6 b	7,35 b	1131 b	24,0 b
F ANOVA	1235 ***	17.8 **	81.0 ***	10.8 **	11.4 **	37.1 ***

GAN-2	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	3,41	171 b	11,1	9,74 b	981 b	19,7
30 d <i>E.fetida</i>	0,000	153 a	10,3	7,32 a	946 ab	19,6
30 d no <i>E.fetida</i>	0,225	138 a	11,5	6,90 a	873 a	23,3
F ANOVA	3,48 ns	14,9 **	0,57 ns	8,50 *	5,18 *	0,86 ns

GAN-3	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	0,00 a	148	9,06 a	7,71	915 b	22,3 a
30 d <i>E.fetida</i>	0,00 a	140	11,0 b	9,06	841 ab	24,2 a
30 d no <i>E.fetida</i>	0,23 b	137	14,1 c	7,63	830 a	30,1 b
F ANOVA	1944 ***	2,33 ns	141 ***	1,83 ns	4,96 *	33,5 ***

GAN-4	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	0,000 a	157	8,51 a	5,66 a	985 b	19,6 a
30 d <i>E.fetida</i>	0,000 a	148	20,5 b	6,67 ab	861 a	50,5 b
30 d no <i>E.fetida</i>	0,233 b	142	12,7 a	8,41 b	845 a	28,2 a
F ANOVA	60,0 ***	2,56 ns	22,3 ***	9,34 *	5,61 *	29,2 ***

GAN-5	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	0,000 a	160	8,69	4,95 a	1005	21,9
30 d <i>E.fetida</i>	0,000 a	157	11,2	9,39 b	933	24,6
30 d no <i>E.fetida</i>	0,163 a	153	13,7	7,76 ab	910	31,0
F ANOVA	4,90 *	2,47 ns	3,43 ns	6,25 *	3,48 ns	3,67 ns

GAN-6	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	-	147	9,61 a	4,57 a	839	23,9 a
30 d <i>E.fetida</i>	-	157	10,8 a	7,66 a	911	25,2 a
30 d no <i>E.fetida</i>	-	155	14,3 b	12,2 b	904	32,8 b
F ANOVA	-	0,59 ns	8,18 *	14,3 **	0,73 ns	8,45 *

GAN-7	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	0,000	154 b	8,29 a	4,73 a	856 b	20,4 a
30 d <i>E.fetida</i>	0,00	149 b	10,5 c	7,81 b	854 b	23,6 b
30 d no <i>E.fetida</i>	38,7	116 a	9,64 b	10,7 c	657 a	21,8 a
F ANOVA	1,24 ns	98,0 ***	70,8 ***	16,8 **	1007 ***	12,9 **

GAN-8	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cr (mg/kg)
0 d	0,50 a	168 b	18,8 b	18,7 c	116 b	72,7 c
30 d <i>E.fetida</i>	0,425 a	23,1 a	13,2 a	16,4 b	99,5 a	39,6 a
30 d no <i>E.fetida</i>	1,97 b	22,3 a	16,5 ab	14,8 a	97,9 a	53,0 b
F ANOVA	1185 ***	6891 ***	8,42 *	60,5 ***	53,8 ***	76,6 ***