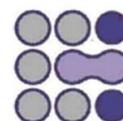




UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

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



EL VERMICOMPOSTAJE COMO TECNOLOGIA DE
BAJO COSTE PARA LA VALORIZACION DE RESIDUOS
ORGÁNICOS GENERADOS EN EL MEDIO RURAL



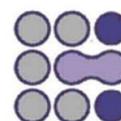
Diego Hernández Gómez

2018



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

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



EL VERMICOMPOSTAJE COMO TECNOLOGIA DE BAJO
COSTE PARA LA VALORIZACION DE RESIDUOS ORGÁNICOS
GENERADOS EN EL MEDIO RURAL

Vº Bº EL TUTOR

Alumno

Rogelio Nogales Vargas-Machuca

Diego Hernández Gómez

Curso académico 2017-2018



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza al alumno **D. Diego Hernández Gómez**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: "El vermicompostaje como tecnología de bajo coste para la valorización de residuos orgánicos generados en el medio rural", bajo la dirección de D. Rogelio Nogales Vargas-Machuca (Investigador científico del CSIC. Estación Experimental del Zaidín. (EEZ-CSIC). Granada), debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 23 de mayo de 2018

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



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

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Autor: Diego Hernández Gómez

Título: El vermicompostaje como tecnología de bajo coste para la valorización de residuos orgánicos generados en el medio rural.

Title: Vermicomposting as a low-cost technology for the valorization of organic waste generated in rural areas.

Director/es del TFM: Rogelio Nogales Vargas-Machuca

Año: 2018

Titulación: Master Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos.

Tipo de proyecto: Trabajos de revisión e investigación bibliográfica

Palabras claves: Vermicompostaje, medio rural, residuos orgánicos, aplicabilidad, revisión bibliométrica

Keywords: vermicomposting, rural areas, organic wastes, applicability, bibliometric review

Nº citas bibliográficas: 76

Nº de tablas: 9

Nº de figuras: 15

RESUMEN

El Trabajo Fin de Master tiene como objetivo realizar una revisión de los conocimientos existentes sobre el desarrollo de los procesos de vermicompostaje como tecnología de bajo coste para el reciclado de residuos orgánicos con el fin de obtener enmiendas orgánicas del suelo y otros productos con valor añadido susceptibles de ser utilizados en agricultura y/o con fines ambientales. Este objetivo se complementa con una revisión sobre el estado actual de la generación de residuos orgánicos en el medio rural y la

aplicabilidad del proceso de vermicompostaje para su gestión, reciclado y valorización, diseñándose una posible planta de tratamiento de residuos agrícolas y ganaderos en una comarca de la provincia de Teruel. Finalmente, el trabajo se completa con una revisión bibliométrica sobre la productividad científica publicada, durante el periodo 2008-2017, a nivel mundial y relacionado con el desarrollo y aplicabilidad de los procesos de vermicompostaje

ABSTRACT

The aim of the Final Master's Project is to review the knowledge on the development of vermicomposting processes, as a low-cost technology, for the recycling of organic waste in order to obtain organic soil amendments and other products with added value to be reused in agriculture and / or for environmental purposes. This objective is supplemented with a review of the current state of the generation of organic waste in rural areas and the applicability of the vermicomposting process for its management, recycling and valorization, designing a possible treatment plant for agricultural and livestock wastes in a region of the province Teruel. Finally, the work is completed with a bibliometric review on published scientific productivity, during the period 2008-2017, worldwide and related to the development and applicability of vermicomposting processes

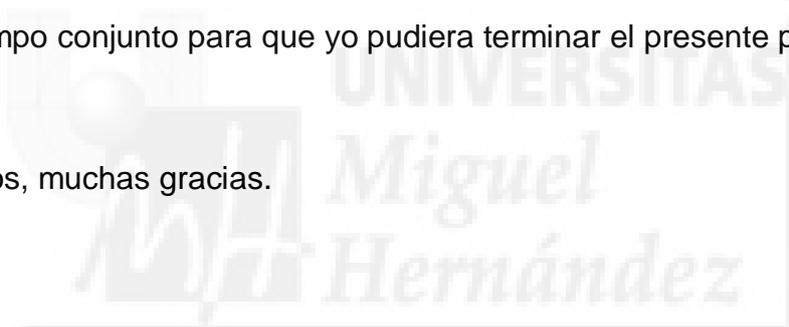
Agradecimientos

Me gustaría aprovechar estas líneas para mostrar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de un modo u otro me han acompañado y apoyado en la realización de la realización de este trabajo final de master.

En primer lugar agradecer a mi tutor, Don Rogelio Nogales Vargas-Machuca, su paciencia, dedicación y esfuerzo, sin el cual me hubiera sido imposible culminar este proyecto. Hago extensivo este agradecimiento a Doña Concepción Paredes Gil por su apoyo y ánimo para que finalizara mis estudios de postgrado.

Y en último lugar y no por ello menos importante, a toda mi familia, especialmente a Belén y a Noelia que han tenido que sacrificar gran parte de nuestro tiempo conjunto para que yo pudiera terminar el presente proyecto.

A todos ellos, muchas gracias.



ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Objetivos	4
3. El proceso de vermicompostaje	4
3.1. Definición del proceso de vermicompostaje	4
3.2. Organismos implicados en los procesos de vermicompostaje	5
3.2.1. Lombrices de tierra	5
3.2.2. Microorganismos	9
3.2.3. Fauna asociada	10
3.3 Factores que regulan el proceso de vermicompostaje	10
3.4. Etapas, escalas y sistemas de procesos de vermicompostaje	15
3.5 Productos finales del proceso de vermicompostaje	21
4. Residuos orgánicos en el medio rural	26
4.1. Residuos agrícolas y ganaderos	28
4.2 Residuos forestales	30
4.3. Residuos de agroindustrias	31
4.4 Residuos urbanos	32
5. Aplicabilidad del vermicompostaje para valorizar residuos orgánicos del medio rural.	33
6. Últimas investigaciones sobre vermicompostaje: estudio bibliométrico	39
7. Conclusiones y perspectivas de futuro	48
8. Bibliografía	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de control de un proceso de vermicompostaje	14
Tabla 2. Requisitos que deben cumplir los vermicomposts para su uso en agricultura (Real Decreto 506/2013)	22
Tabla 3. Límites máximos de microorganismos patógenos y metales pesados permitidos en vermicomposts para su uso en agricultura (Real Decreto 506/2013, Anexo V)	22
Tabla 4. Requisitos que deben cumplir los vermicomposts para su uso como sustratos de cultivo sin suelo (Real Decreto 865/2010).	23
Tabla 5. Producción estimada de residuos en España. Miles de toneladas)	29
Tabla 6. Recogida de residuos de forma separada. Año 2015. Miles de toneladas.	33
Tabla 7. Superficie agrícola (hectáreas) según cultivo de la provincia de Teruel	34
Tabla 8. Cabaña ganadera de la provincia de Teruel	35
Tabla 9. Áreas que componen la planta de compostaje y vermicompostaje diseñada para el tratamiento de residuos orgánicos agrícolas y ganaderos de una comarca agropecuaria de la provincia de Teruel	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología lombriz de tierra	6
Figura 2. a) Eisenia fétida, b) Eisenia andrei	7
Figura 3. Etapas del proceso de vermicompostaje. La franja blanca indica el rango de humedad adecuada de los residuos en cada etapa	16
Figura 4. Distribución de la población rural en España	27
Figura 5. Comarcas de la provincia de Teruel y distribución de la población ocupacional por sectores económicos	34
Figura 6. Esquema de la planta de compostaje y vermicompostaje de residuos agrícolas y ganaderos	37
Figura 7. Esquema fotográfico de la planta de compostaje y	38

vermicompostaje de residuos agrícolas y ganaderos.

- Figura 8.** Esquema de la ubicación de las literas en el área 5 de la 39
planta de compostaje y vermicompostaje discontinuo de residuos
agrícolas y ganaderos
- Figura 9.** Numero de publicaciones por año recogidos en Scopus 40
utilizando la palabra "vermicomposting"
- Figura 10.** Tipos de documentos recogidos en Scopus utilizando la 41
palabra "vermicomposting"
- Figura 11.** Número de artículos científicos sobre vermicompostaje en 41
las 10 principales revistas científicas recogidas en Scopus
- Figura 12.** Países del mundo con mayor número de artículos 42
científicos sobre vermicompostaje
- Figura 13.** Diez primeros autores por número de publicaciones sobre 43
vermicompostaje en los últimos diez años.
- Figura 14.** Diez primeras instituciones académicas y científicas por 43
número de publicaciones sobre vermicompostaje.
- Figura 15.** Porcentaje de publicaciones sobre vermicompostaje 44
según área científica

1. Introducción

La Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados del Reino de España del 28 de julio del 2011, que incorpora al ordenamiento jurídico español la Directiva comunitaria 2008/98/CE, define residuo como cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar.

Aunque existen diferentes tipos para clasificar los residuos de diferente naturaleza y origen, comúnmente se utiliza aquella que se basa en su generación por los diferentes sectores productivos de las actividades de nuestra sociedad. Según ella, los residuos pueden agruparse en tres grupos:

- Residuos producidos por el sector primario: dentro de este grupo se engloban los diversos residuos agrícolas, ganaderos, pesqueros y forestales.
- Residuos producidos por el sector secundario: englobados en esta categoría se encuentran una gran variedad de residuos resultantes de diversos procesos industriales, así como los residuos derivados de la minería y la construcción.
- Residuos producidos por el sector terciario: principalmente representados por los residuos sólidos urbanos y las aguas residuales urbanas.

La gestión (recogida, almacenamiento, transporte, tratamiento y eliminación) de las enormes cantidades de residuos que genera la sociedad ha avanzado simultáneamente a la mayor concienciación ciudadana y al interés medioambiental despertado por las administraciones públicas y privadas. En base a ello esa gestión, actualmente, se focaliza a la consecución de los siguientes objetivos:

- 1) Prevenir la generación de residuos, reduciendo el volumen y toxicidad de los residuos producidos.
- 2) Reciclar, reutilizar y valorizar los residuos generados, tanto como sea posible, buscando, en lo posible, un valor añadido para ellos.
- 3) Recuperar energéticamente los residuos sobrantes mediante tecnologías de bajo impacto ambiental.

4) En último caso, si no es posible alcanzar los objetivos anteriores, eliminar los residuos no reciclables de forma segura bajo control medioambiental es la medida a adoptar.

En el caso de los residuos orgánicos biodegradables, definidos como residuos que en condiciones de vertido pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia, su gestión es variable, dependiendo de la naturaleza del residuo y del lugar donde se origina. En la Unión Europea, el reciclaje de los residuos orgánicos hasta materiales orgánicos estabilizados aptos para ser utilizados como enmiendas orgánicas de suelos agrícolas, ha sido establecido por la Directiva europea 2006/12/CE como una de las estrategias de gestión más aconsejables, sobre todo si se considera que el 75% de los suelos del Sur de Europa poseen un contenido en material orgánica por debajo del 2% (). Entre otros sistemas de gestión y reciclado, el vermicompostaje, proceso de biodegradación de residuos orgánicos mediado por la acción combinada de lombrices y microorganismos, se considera una tecnología de bajo coste, de fácil manejo, dimensionable a diferentes escalas y sistemas y aplicable a un gran número de residuos orgánicos. El uso de esta tecnología en áreas rurales suscita un gran interés y aplicabilidad, no solo en base a lo expuesto anteriormente sino también por la particularidad de esas zonas, caracterizadas por la dispersión de la población, vías de comunicación insuficientes y la singularidad de muchos de los residuos orgánicos que se generan en ellas.

Aunque desde tiempo remoto es conocido que algunas lombrices descomponían residuos orgánicos, la primera referencia del proceso de vermicompostaje se atribuye al monje benedictino Augustus Hessing, en los años 30, cuando utilizaba lombrices para eliminar los residuos que se producían en el monasterio. A mediados de los años 40 se comenzó en Estados Unidos la cría intensiva de lombrices con el fin de obtener vermicompost o humus de lombriz. Inicialmente, se utilizó la especie *Eisenia andrei*, también conocida como lombriz roja californiana, la cual posteriormente por razones de crianza, reproducción y por la variedad de residuos orgánicos que ingieren, ha resultado, junto a la especie *Eisenia foetida* ser la lombrices

más adecuadas para los procesos de vermicompostaje y sistemas de lumbricultura (Nogales y col. 2008).

El conocimiento científico de los procesos de vermicompostaje, a nivel básico y aplicado, se inició en la década de los setenta, en Estados Unidos por diferentes grupos de investigación de Universidades del Estado de Nueva York, aunque el primer artículo científico sobre esta temática fue de un investigador alemán: Graff, O. 1974. Gewinnung von Biomasse aus Abfallstoffen durch Kultur des Kompostregewurms *Eisenia foetida* (Savigny 1826). *Landbauforschung Volkenrode* 24, 137–142. Desde esa fecha se ha publicado en el mundo más de 1200 artículos científicos, un gran número de libros, capítulos de libros, boletines informativos, Tesis doctorales y de maestría, así como se han desarrollado un gran número de patentes dirigidas fundamentalmente, a la mejora tecnológica de este proceso. Ligado a su desarrollo científico, tanto el proceso como los sistemas de vermicompostaje se han desarrollado a nivel comercial y en la actualidad existen un gran número de pequeñas y medianas empresas dedicadas a la transformación de diferentes residuos orgánicos mediante esta tecnología en Estados Unidos, países de Europa (España, Italia, Gran Bretaña, Holanda), pero sobre todo en países emergentes o en vías de desarrollo de América Latina (Cuba, Colombia, Argentina, Ecuador, Chile, Costa Rica, Honduras, etc.) y del sudeste asiático (India, China, Filipinas, etc.) (Edwards, 2011; Nogales y col. 2014).

En España algunos grupos de investigación de Universidades públicas y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) llevan a cabo, desde los años noventa, diferentes líneas de investigación relacionadas con el tratamiento mediante vermicompostaje de diversos residuos agrícolas, ganaderos, agroindustriales, industriales y urbanos, así como con el aprovechamiento de los vermicomposts obtenidos en la agricultura, en la recuperación de suelos contaminados por xenobioticos (metales pesados, plaguicidas, etc.) y en la descontaminación de aguas. A nivel comercial, en España hay más de 40 empresas, ubicadas en todas las comunidades autónomas, dedicadas a la obtención de vermicomposts y, también, un menor

número de empresas que producen derivados de esos materiales como los Tés de vermicomposts.

2. Objetivos

El Trabajo Fin de Master tiene como objetivo realizar una revisión de los conocimientos existentes sobre el desarrollo de los procesos de vermicompostaje como tecnología de bajo coste para el reciclado de residuos orgánicos con el fin de obtener enmiendas orgánicas del suelo y otros productos con valor añadido susceptibles de ser utilizados en agricultura y/o con fines ambientales. Este objetivo se complementa con una revisión sobre el estado actual de la generación de residuos orgánicos en el medio rural y la aplicabilidad del proceso de vermicompostaje para su gestión, reciclado y valorización, diseñándose una posible planta de tratamiento de residuos agrícolas y ganaderos en una comarca de la provincia de Teruel. Finalmente, el trabajo se completa con una revisión bibliométrica sobre la productividad científica publicada, durante el periodo 2008-2017, a nivel mundial y relacionado con el desarrollo y aplicabilidad de los procesos de vermicompostaje

3. El proceso de vermicompostaje

3.1. Definición del proceso de vermicompostaje

El proceso de vermicompostaje es un proceso biotecnológico de bajo coste que permite la biodegradar y estabilizar residuos orgánicos bajo condiciones aeróbicas y mesófilas mediante la acción de ciertas especies de lombrices de tierra capaces de alimentarse del residuo a la vez que acelera su degradación biológica. En este proceso se aprovecha la capacidad detritívora de las lombrices, que ingieren, trituran y digieren el residuo orgánico, descomponiéndolo mediante la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaeróbica presente en el interior de su intestino (Edwards, 1998).

El proceso de vermicompostaje ha sido utilizado para la biodegradación de un gran número de residuos orgánicos, y se considera como una ecotecnología limpia, sin impacto ambiental y cuyos costes de inversión, energéticos y de mantenimiento son moderadamente bajos. Su utilización aporta los siguientes beneficios: a) Eliminación de residuos orgánicos nocivos, insalubres, molestos y de difícil gestión, b) Generación de un producto final útil (vermicompost), de gran valor como enmienda orgánica del suelo de alta calidad, que puede funcionar como un abono órgano químico, c) Producción de una gran biomasa de lombriz, de alto contenido proteico y de alta calidad para alimentación animal (avícola, porcino y piscícola, fundamentalmente) (Nogales et al. 2008)

3.2. Organismos implicados en los procesos de vermicompostaje

Los organismos implicados en los procesos de vermicompostaje podemos clasificarlos en tres tipos: Lombrices de tierra, microorganismos y fauna asociada.

3.2.1. Lombrices de tierra

Son invertebrados, de cuerpo cilíndrico y alargado. La longitud de un adulto varía entre los 5 y los 45 centímetros. Su cuerpo está revestido por una fina cutícula que lo protege de la desecación, y el celoma actúa como esqueleto hidrostático. Todos los segmentos de la lombriz son iguales excepto el primero que contiene la boca, llamado prostomio y el último, donde se encuentra el ano, llamado pigidio (Figura 1). Su cuerpo se divide en dos partes, una anterior y otra posterior. La parte anterior está compuesta el sistema digestivo, los corazones y el aparato reproductor. Mientras que en la parte posterior se encuentra el intestino.

Al carecer de extremidades las lombrices se desplazan por medio de músculos, el líquido celómico y las quetas. Durante el proceso de vermicompostaje las lombrices se desplazan verticalmente buscando las zonas

más óptimas en humedad y con una aireación adecuada, estas evitan las zonas más altas del vermicompost en las horas del día donde mayor incidencia de radiación solar se produce, desecando la materia orgánica.

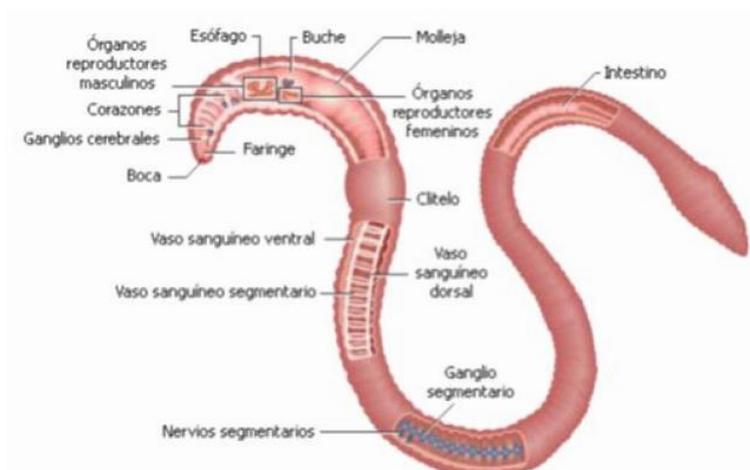


Figura 1. Morfología lombriz de tierra

Resulta fundamental la elección de la especie de lombriz a utilizar en el proceso de vermicompostaje, para lograr la mayor eficiencia posible en la biotransformación del material orgánico.

Las diferentes especies utilizadas en el proceso de vermicompostaje deben tener una serie de características, las cuales se enumeran a continuación: a) Estrategia de reproducción de tipo r, b) Ser ubicuas y poder colonizar diversos residuos orgánicos de forma natural, c) Tolerar amplios rangos de temperatura, d) Ser fuertes, resistentes y fáciles de manejar, e) Elevada tasa de reproducción, f) Colonizadoras efectivas de todos tipos de ambientes ricos en materia orgánica, g) Vivir en cautiverio sin fugarse de su lecho, h) Alta voracidad y capacidad para procesar grandes cantidades de residuo (Nogales y col. 2008).

Las lombrices de tierra son organismos que abarcan un gran número de especies pero solo unas pocas de estas especies son utilizadas para la degradación de residuos orgánicos. Las lombrices responsables de la degradación de la materia orgánica podemos clasificarlas en tres familias

fundamentalmente y todas ellas forman parte del Orden Haplotaxida. La familia Lumbricidae con las especies *Eisenia fétida*, *Eisenia andrei*, *Dendrobaena veneta*, *Dendrodrilus ribidus* y *Lumbricus rubellus*. La familia Eudrilidae con la especie *Eudrilus eugeniae* y la familia Megascolecidae con las especies *Perionix excavatus* y *Lampito mauritii*. Existe otra especie, la *Drawida nepalensis* dentro de la familia Moniligastridae pero perteneciente al orden Moniligastrida que también son utilizadas en la degradación de materia orgánica.

Todas estas especies tienen la característica de una reproducción rápida y prolífica por lo que permite que las diferentes generaciones se vayan sucediendo en el tiempo de forma continua. De este modo se permite un alto consumo de sustrato orgánico, lo cual permite una mayor aceleración del proceso.

Las especies más utilizadas en climas templados y por tanto las más interesantes a nivel nacional son la *Eisenia fétida*, Savigny, 1826 -lombriz tigre- y *Eisenia andrei*, Bouche, 1972 -lombriz roja de California- (Figura 2).

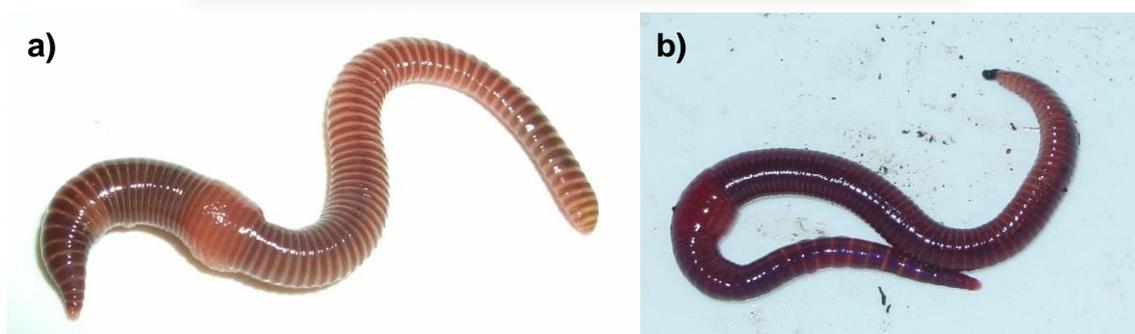


Figura 2. a) *Eisenia fétida*, b) *Eisenia andrei*

Estas especies son las más utilizadas en el proceso de vermicompostaje debido a su gran capacidad para adaptarse a las diferentes características de los distintos residuos orgánicos a vermicompostar, ya que poseen un amplio rango de tolerancia al pH, temperatura y humedad del sustrato orgánico en el

que se desarrollan (Nogales y col. 2008). Además son lombrices fáciles de manejar, viven en cautividad sin fugarse, son fuertes y resistentes y generalmente son las especies dominantes en cultivos mixtos. Igualmente, son muy voraces, y bajo condiciones óptimas pueden llegar a consumir diariamente una cantidad de residuo equivalente a su peso (Riggle y Holmes, 1994). También son lombrices longevas, con una esperanza de vida máxima de entre 4.5 y 5 años (Herlant-Meewis, 1967). Por lo general su esperanza de vida ronda los 20 meses. Ambas especies son muy parecidas a nivel morfológico, pudiendo convivir y desarrollarse en el mismo substrato orgánico (Bouche, 1972). En condiciones naturales *E. fétida* posee más ventajas adaptativas, mientras que en medios de cultivos controlados *E. andrei* compite y termina desplazando a *E. fétida* (Domínguez y col., 2003, 2005; Pérez Losada y col., 2005).

Pese a las diferencias encontradas entre las dos especies, ambas presentan características comunes: a) La longitud corporal media es de 60-120 mm y un diámetro de 3-6 mm, b) El nº medio de segmentos varía entre 80 y 120, c) El clitelo, con forma de silla de montar ocupa entre 6-8 segmentos y los tubérculos pubertarios se extienden a lo largo del borde ventral del clitelo en tres segmentos, d) Las cápsulas tienen un diámetro entre 2,3 y 4,4 mm, y su longitud varía entre 2,4 y 5,2 mm., e) La vida de estas especies puede alcanzar hasta los 15 años, si las condiciones son favorables, f) Ambas especies maduran sexualmente a los dos meses de vida. El acoplamiento de dos lombrices se efectúa con no menos de 7 días entre uno y otro, del cual se obtienen entre 1 y 2 cápsulas/semanales por cada lombriz. Si las condiciones del medio son óptimas, después de 14-21 días de incubación, eclosiona la cápsula y nacen entre de 2 y 4 lombricillas de color rosado pálido translúcido, en condiciones de moverse y nutrirse de inmediato. Las nuevas lombrices alcanzan su madurez sexual entre 40 y 70 días de su nacimiento dependiendo de las condiciones del cultivo (Nogales y col. 2014)

3.2.2. Microorganismos

En los procesos de vermicompostaje, al igual que sucede en los de compostaje, se encuentran involucrados un gran número de microorganismos, fundamentalmente bacterias, hongos y actinomicetos mesófilos (Nogales y col., 2008), los cuales juegan un papel fundamental en la descomposición, mineralización y estabilización del residuo orgánico (Domínguez y col., 2010).

El desarrollo y actividades de las lombrices y microorganismos se encuentra muy estrechamente relacionado, ya que por una parte los microorganismos constituyen una parte fundamental de la dieta de las lombrices, y por otra parte las lombrices modifican la estructura física de los residuos, fragmentándolos y aumentando su superficie, lo cual incrementa la actividad de los microorganismos (Edwards y Fletcher, 1988).

El sistema digestivo de las lombrices es complejo, en el cual existen y cohabitan diversos microorganismos, que junto las diferentes actividades enzimáticas propias del sistema de las lombrices modifican sustancialmente la composición química y microbiológica del material orgánico ingerido (Drake y col., 2006).

Por esos motivos, así como por otros (diversidad de la naturaleza de los residuos orgánicos, densidad poblacional y tipo de lombrices involucradas, etc) el conocimiento sobre los grupos de microorganismos y su evolución durante los procesos de vermicompostaje todavía es escaso. La aplicación de técnicas basadas en marcadores moleculares está ayudando a dilucidar la microbiología del proceso de vermicompostaje, aunque todavía los resultados obtenidos tienen, en algún caso, un carácter contradictorio (Castillo y col., 2013; Fernandez-Gomez y col., 2010, 2011, Nogales y col. 2014, Sen y Chandra, 2009).

3.2.3. Fauna asociada

En los procesos proceso de vermicompostaje, especialmente aquellos relacionados a gran escala, pueden participar muchos macroorganismos que colonizan los residuos orgánicos para alimentarse de la materia orgánica o utilizarlo como refugio. Entre ellos cabe citar los organismos detritófagos como cochinillas u otros insectos que pueden competir con las lombrices por el alimento, invertebrados como nematodos, ácaros e insectos detritófagos que compiten con las lombrices por el alimento sin causarles daños directamente. En un correcto funcionamiento del vermicompostaje ninguna de estas especies sería capaz de cuásar daños a las lombrices pero su proliferación estaría indicando un inadecuado proceso de vermicompostaje.

3.3 Factores que regulan el proceso de vermicompostaje

Los principales factores que regulan un proceso de vermicompostaje son:

a) Tipo de residuo orgánico

Existe un gran número de residuos orgánicos generados por las actividades agrícolas, urbanas e industriales de nuestra sociedad que han sido ensayados y utilizados óptimamente en los procesos de vermicompostaje. Estos residuos se clasifican en:

i) Convencionales o residuos naturales de crecimiento de las lombrices:

Estiércoles de vacuno, ovino, caballar (Elvira y col., 1996a, b; Benítez y col., 2002, Chan y Griffiths, 1988, Hamilton y col. 2008)

ii) No convencionales o residuos no naturales de crecimiento de las lombrices:

purines de cerdo (Aira y col., 2002; Domínguez, 1996), lodos de depuradoras urbanas (Benítez y col., 1999a,b; Domínguez y col., 2000), lodos de industrias de celulosa y papel (Elvira y col., 1997; Elvira y col., 1998), lodos de industrias lácteas (Nogales y col., 1999a; Elvira y col., 1999), residuos oleícolas (Benítez

y col., 2002; Castillo y col. 2013, Nogales y col., 1998, 99b.), residuos de piscifactoría (Marsh y col. 2005), residuos vitivinícolas (Castillo y col., 2013, Nogales y col., 2005), residuos vegetales de cultivos de invernadero (Fernández-Gómez y col., 2011, 2013, 2015)

b) Humedad

La humedad debe ajustarse antes de iniciarse el proceso de vermicompostaje, en función de la especie de lombriz de tierra a utilizar en el proceso de degradación de la materia orgánica. La humedad del residuo se puede medir con un medidor de humedad o con la prueba del puño. Las lombrices implicadas en los procesos de vermicompostaje, *E. fétida* y *E. andrei* pueden sobrevivir entre un 50 y 90% de humedad, encontrándose su óptimo alrededor del 85% (Domínguez y Edwards, 1997, Edwards, 1988)

c) Estructura física.

Debe ser suficientemente porosa que permita el desplazamiento de las lombrices, el paso de aire y el drenaje de un posible exceso de agua. La aireación del residuo es fundamental ya que las lombrices requieren concentraciones de oxígeno comprendidas entre un 55% y un 65% (Edwards y Bohlen, 1996). Si la estructura del residuo no permite la difusión pasiva del aire, este se debe mezclar con otro residuo, el cual mejore la estructura del residuo (Elvira y col., 1999; Garg y col., 2008; Nogales y col., 2008).

d) Temperatura

La temperatura, junto con la humedad, es el factor que más afecta a la actividad, metabolismo, crecimiento y reproducción de las lombrices. Los sistemas de vermicompostaje deben llevarse a cabo a temperaturas comprendidas entre 10 y 35°C. *Eisenia foetida* y *E. andrei* se desarrollan

óptimamente a 25°C, aunque su carácter epigeo le permite sobrevivir entre los 0 y 35°C (Domínguez, 2004).

e) pH

El pH del residuo puede afectar al proceso de vermicompostaje ya que las lombrices tienen un rango de tolerancia. En un valor de pH óptimo las lombrices logran desarrollarse y reproducirse satisfactoriamente. Aunque *E. foetida* y *E. andrei* que toleran valores comprendidos entre 5 y 9, prefieren valores cercanos a la neutralidad (Edwards y Bohlen, 1996)

f) Contenido de carbono y nitrógeno

Se aceptan los residuos con una relación C/N entre 20 y 30 ya que permiten un aceptable desarrollo de la mayoría de las especies de lombrices, si la relación se desvía en exceso de la relación antes mencionada puede verse comprometida la viabilidad reproductiva y de crecimiento de las lombrices (Nogales y col., 2008). Las relaciones C/N bajas o elevados niveles de proteínas favorecen la degradación rápida y el calentamiento del material, siendo letal para las lombrices.

g) Concentración de sales.

Las lombrices tienen una baja capacidad osmoreguladora de las sales que absorbe con el agua a través de su piel por lo que el contenido en sales de los residuos orgánicos pueden desequilibrar la composición iónica de los fluidos internos de las lombrices. Es por esto que una elevada concentración de sales en el residuo orgánico puede impedir que sea procesado por las lombrices. Para *E. fétida* y *E. andrei* un residuo con niveles de conductividad eléctrica superiores a 8 dS m⁻¹ serían letales (Edwards, 1988). En zonas con alta disponibilidad de agua, un lavado previo de los residuos con altos niveles en sales podría ser una técnica de acondicionamiento para reducir su contenido

en sales hasta un nivel tolerable por las lombrices, aunque elevaría el coste del proceso (Nogales y col., 2008)

h) Concentración de amoniaco y amonio.

Altos niveles de amonio y otras de sus formas resultan tóxicas para las especies de lombrices *E. fétida* y *E. andrei*, con niveles por encima de 1 a 0,5 mg g⁻¹ respectivamente (Edwards, 1988). En estas situaciones el residuo puede ser acondicionado dejándolo airear durante unos días y saturándolo de agua para facilitar la volatilización de su contenido en amoniaco (Elvira y col., 1996).

i) Concentración de sustancias o elementos tóxicos

En este caso estamos hablando de sustancias como los metales pesados, fenoles y plaguicidas, que aunque en pequeñas cantidades son nocivas para el desarrollo de las lombrices. Una pequeña cantidad de metales pesados ingeridos por las lombrices puede incorporarse a sus tejidos por medio de la absorción intestinal (Fleming y Richards, 1982). También cabe mencionar que los metales pesados siguen presentes en el vermicompost ya que estos pasan de por el tracto intestinal y vuelven al medio (Elvira y col., 1995; Suthar y Singh, 2009). Dependiendo de la composición, los plaguicidas tienen efectos negativos en la supervivencia de las lombrices (Yasmin y D'Souza, 2010).

j) Actividad biológica.

Se puede generar una intensa actividad y proliferación microbiana debido al agrupamiento de ciertos residuos, su correspondiente humectación y al alto nivel de nutrientes y de microorganismos que presenta el residuo. Este fenómeno conlleva un proceso de incontrolado de la degradación de la materia orgánica y un sobrecalentamiento del residuo (Domínguez, 2004). Es por ello que el residuo debe ser precompostado para que las lombrices no soporten estados de estrés como el descrito anteriormente.

k) Enemigos de las lombrices

Aunque se considera que el hombre es el principal enemigo de la lombriz por el manejo incorrecto del proceso de vermicompostaje, otros vertebrados, como ratones, aves y topos, pueden constituir una amenaza para las lombrices. Sin embargo, éstos pueden controlarse con la implantación, sobre y debajo de las literas de lonas resistentes que impidan el paso de los depredadores. Existe un gran número de invertebrados que son depredadores o parásitos de las lombrices como hormigas, ácaros, tijeretas, ciempiés, etc. Las hormigas pueden llegar a establecerse en colonias de alta densidad, ocasionando daños considerables. Por lo general estos depredadores se suelen controlar manteniendo la humedad del sustrato por encima del 80% y un pH superior a 7.

Tabla 1. Parámetros de control de un proceso de vermicompostaje

Parámetro	Frecuencia de control	Información
Humedad entre 70% y 90%	Diariamente	Presencia de oxígeno necesario. A escasa humedad necesidad de regar A exceso de humedad necesidad de drenar.
Temperatura entre 18° y 28°	Diariamente	A alta temperatura necesidad de regar o reducir la cantidad de residuos. A baja temperatura añadir más residuos o elevar la temperatura ambiental
Aireación (55-65%)	Diariamente	Evitar la compactación o exceso de agua que disminuye la aireación. Voltear o agregar estructurante.
pH entre 7 y 8,5	Semanalmente	Un pH superior a 7 evita depredadores o plagas
Densidad de población 20000 a 30000 individuos/ m ³	Semanalmente	Condiciones estables de los parámetros y alimento abundante estabiliza la población
Madurez óptima de 60% juveniles y de 40% adultas	Semanalmente	Indica el estado de salud de la población
Tasa de reproducción, > 500 cápsulas, con 70% de eclosión	Quincenalmente	Indica potencial para fundar nuevas unidades.

La tabla 1 expone de forma reducida los parámetros básicos a controlar en el proceso de vermicompostaje, la frecuencia de control necesaria y la información para corregir posibles afecciones en el balanceo del residuo.

3.4. Etapas, escalas y sistemas de procesos de vermicompostaje

El vermicompostaje consta de tres etapas y se puede escalar en función de los fines que se persigan. Las etapas del vermicompostaje están fuertemente influidas por la actividad de las lombrices en el sustrato orgánico.

De este modo como ya hemos indicado anteriormente, se pueden identificar tres etapas, las cuales se describen a continuación (Figura 3):

Etapas de acondicionamiento. En esta etapa se prepara el residuo orgánico para que pueda servir de alimento para las lombrices. Es interesante en esta etapa si fuera posible aumentar la biomasa microbiana. Cabe la posibilidad de realizar un preacondicionamiento. Entre otros muchos tratamientos en el acondicionamiento de los residuos podemos destacar el lavado, macerado, mezcla de varios residuos y el precompostaje, este último de obligatorio cumplimiento si contiene residuos orgánicos de origen humano, debido a los microorganismos patógenos que pueda presentar para el ser humano.

Etapas de vermicompostaje o vermicompostaje en sentido estricto las lombrices actúan sobre el residuo. Comprende el periodo desde la inoculación de las lombrices hasta su retirada. Este periodo no es constante en el tiempo y se ve influido por el tipo y las características del residuo, la densidad de las lombrices, la especie de lombriz.

Etapas de maduración. Después de retirar las lombrices es aconsejable la dejar un tiempo el material orgánico para que madure y de esta manera que aumente su estabilidad, calidad y disminuya su contenido hídrico. Es una etapa en la cual no se adiciona agua y se permite que los microorganismos existentes en la materia orgánica terminen el proceso de descomposición.

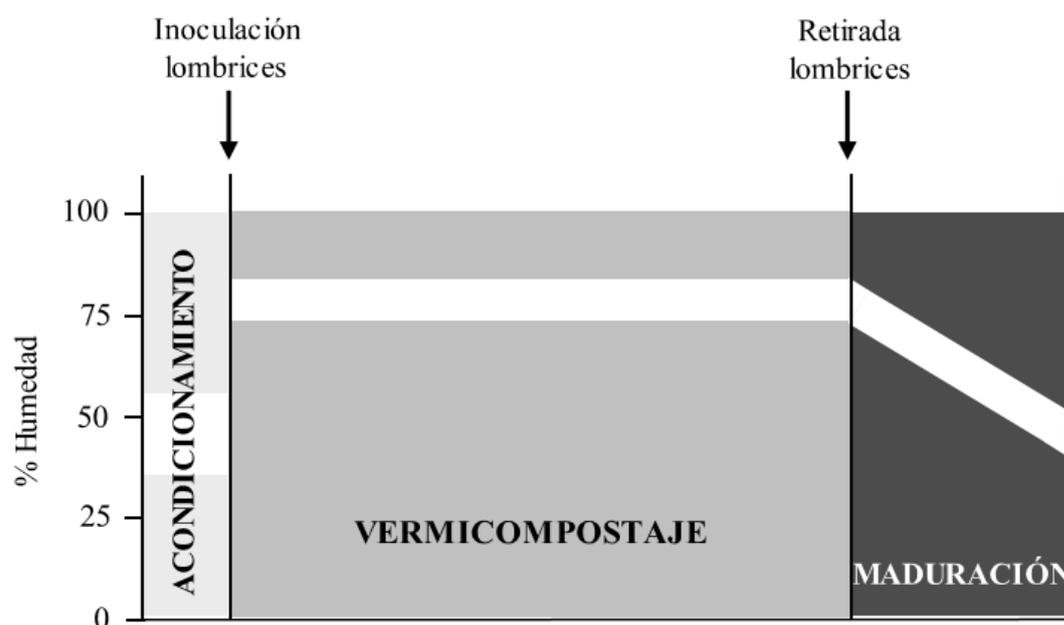


Figura 3. Etapas del proceso de vermicompostaje. La franja blanca indica el rango de humedad adecuada de los residuos en cada etapa (Nogales y col. 2014)

Existen diferentes escalas en el proceso de vermicompostaje (Nogales y col., 2008). A continuación se realiza una breve descripción de las principales escalas existentes en el proceso de vermicompostaje:

a) Escala doméstica. El objetivo principal es minimizar los residuos orgánicos generados por las familias. Los residuos orgánicos de origen doméstico y los restos procedentes de la huerta familiar o del jardín son los más utilizados para este tipo de vermicompostaje. El residuo orgánico después de ser vermicompostado puede ser utilizado para la huerta y las lombrices para la alimentación de los animales. El residuo procesado no tiene un gran control ni mantenimiento. Puede constar de cajas de diferentes materiales realizados de forma casera o bien, actualmente existen en el mercado vermicomposteras domésticas.

b) Escala de laboratorio o pequeña. Se suelen utilizar en centros de investigación y laboratorios como su nombre indica. El fin de esta escala es

investigar e informarse de las bases científicas del proceso de vermicompostaje. Los recipientes utilizados son vermireactores pequeños, abiertos o cerrados para poder monitorizar el proceso. A esta escala, la temperatura y humedad del proceso están muy controladas.

c) Escala piloto o mediana. La cantidad de residuo es mucho mayor que en los dos casos anteriores. Es un proceso llevado a cabo por empresas del sector agroganadero con el objeto de reciclar residuos de cosechas, de cría de animales...El residuo es transformado en vermicompost, el cual volverá a ser utilizado por la empresa del sector agroganadero. En esta escala existen un mayor control que el llevado a cabo por el sector doméstico aunque no se monitorizan los datos para conseguir un desarrollo óptimo del proceso. A esta escala también se realizan estudios de centros de investigación o laboratorios para extrapolar los datos de la escala de laboratorio.

d) Escala comercial o industrial. El objetivo es procesar una gran cantidad de residuos para comercializar el vermicompost. En esta escala el proceso se monitoriza para optimizar el tiempo y la calidad del producto. Es por ello que requiere mecanizar el proceso y hacer un efectivo diseño de planta (Martínez y col., 2003), el cual consta fundamentalmente de:

- *Área de recepción y acondicionamiento del residuo.* Es el lugar donde el residuo se acumula y se acondiciona según diferentes requerimientos.
- *Área de vermicompostaje.* Lugar donde se produce el proceso real de vermicompostaje. Estas plantas presentan generalmente más de 500 m² de literas de cultivo directo y suelen estar presentes otras estructuras adicionales como pueden ser las cubiertas superficiales de cierre, sistema de riego, sistema de calefacción, aireación y/o control de humedad. De este modo se controla el proceso de vermicompostaje.
- *Área de cría.* Es el lugar donde se mantienen las reservas de lombrices.
- *Área de almacén y procesado del producto final.* Es el lugar cubierto donde el producto termina de madurar, reduciendo su humedad mediante secado al aire.

Por otra parte, existen principalmente dos sistemas de vermicompostaje, el sistema tradicional o discontinuo y el sistema de vermicompostaje con alimentación continua o flujo continuo (Garg y col., 2008; Nogales y col., 2014)

El **sistema tradicional o discontinuo** consiste en la inoculación de las lombrices en el residuo orgánico y se produce la degradación en un único paso, posteriormente se retira todo el material vermicompostado de una única vez separándolo de las lombrices.

Los dos principales tipos de sistemas en el sistema tradicional o discontinuo son:

- *Literas, hileras, camas, canteras o camellones.* Es un sistema de vermicompostaje muy utilizado por su bajo coste de mantenimiento. Se utiliza a escala mediana o comercial. El residuo se dispone en espacios rectangulares de diferentes longitudes y generalmente se encuentra limitado por maderas, ladrillos o bloques de cemento, fundamentalmente sirve para evitar que las lombrices se escapen. En cualquier caso no siempre se realiza de este modo y puede encontrarse el residuo en hileras sin ningún medio de contención para las lombrices. Bajo estas condiciones es muy aconsejable que el residuo se encuentre cubierto para favorecer el sombreado de las hileras o evitar la posible entrada de lluvia y de aves. Para el sombreado de la hilera se puede utilizar malla sombreadora, árboles....

En caso que no fuera posible la utilización de materiales que generen sombra al residuo se optará por orientar las hileras de norte a sur para evitar la incidencia del sol. También es muy aconsejable colocar el residuo orientado en sentido de los vientos dominantes y a favor de pendiente del terreno. Estas acciones favorecen el desplazamiento de las lombrices por el vermicompost y permiten una mejor gestión de las hileras.

Para el largo y ancho de las literas se tiene en cuenta la escala a la que se realice el vermicompostaje, para sistemas comerciales entre 1.2 y 1.5 me

ancho por 20 y 60 metros de largo, dejando una distancia entre las literas de 3 o 4 metros y el espesor suele ser como máximo de 50 centímetros ya que un espesor mayor puede aumentar el calor dentro del residuo y compactarlo, impidiendo el movimiento de las lombrices dentro del residuo.

Tras el acondicionamiento del residuo se introducen las lombrices de forma uniforme por todo el residuo o bien, se dispone un cordón de vermicompost entre las literas con una gran densidad de lombrices para que sean estas las que vayan migrando poco a poco al residuo.

Cuando se llega al límite poblacional de las lombrices y su reproducción se detiene dentro del residuo estas se separan del medio. Esta separación se puede llevar a cabo mediante la colocación de otra litera de residuo junto a la litera que soporta gran densidad de lombrices para que estas vayan migrando poco a poco del vermicompost al residuo fresco o bien con una malla de sección que permita el paso de las lombrices, la cual se coloca sobre el residuo ya degradado por las lombrices y posteriormente se añade más residuo fresco, de tal modo las lombrices migraran del residuo antiguo al residuo fresco. Este método es mucho más rápido, pero debe realizarse varias veces para que la mayoría de las lombrices pasen al residuo fresco.

- *Contenedores, cajas y receptáculos.* Estos sistemas son utilizados principalmente a escala doméstica y mediana. El residuo se encuentra ubicado dentro de un contenedor donde las lombrices se encuentran más protegidas de las condiciones ambientales. Cuando la población de lombrices ha llegado a su límite y el residuo ha sido procesado, las lombrices migran a otro contenedor, el cual se coloca encima del ya procesado. También se puede realizar la separación de las lombrices del residuo antiguo manualmente, se coloca una pequeña cantidad de residuo fresco sobre la superficie del residuo maduro, al cabo de 2 o 3 días las lombrices habrán migrado a esta pequeña porción de residuo fresco y es entonces cuando podemos recogerlas y trasladarlas a los receptáculos de residuo fresco, este proceso se debe realizar entre 2 o 3 veces

para asegurar que se ha extraído toda la población de lombrices del sustrato antiguo.

En los sistemas de **vermicompostaje de alimentación continua** se permite ir procesando cantidades parciales de residuo orgánico que son incorporadas al proceso de vermicompostaje de forma más o menos constante a la vez que el residuo ya estabilizado es retirado del sistema. Estos sistemas de vermicompostaje, según su modo de funcionamiento se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- *Vermicompostadores verticales modulares.* Son unidades cilíndricas o rectangulares desmontables, llamadas módulos, cada una de ellas presenta un soporte inferior perforado que permite el paso de lombrices entre los diferentes módulos. Los módulos son ensamblados verticalmente partiendo de un módulo inicial donde se encuentran las lombrices de nuestra población inicial. Así pues, de este modo, los módulos nuevos y superiores contienen residuo fresco y este va siendo añadido periódicamente al sistema y conforme se agota el residuo antiguo se retira. De este modo las lombrices van agotando el residuo fresco y van migrando de un módulo a otro. De este modo cuando se retira el residuo antiguo ya sin lombrices puede ser mineralizado por los microorganismos. Este sistema es usado principalmente a escala doméstica.
- *Vermicompostadores verticales mecanizados (vermireactores).* Se emplean en procesos de vermicompostaje desarrollados a escala mediana y comercial. El funcionamiento se base en aplicar periódicamente residuo orgánico a la parte superior del vermireactor previamente inocula con lombrices, estas mantienen una actividad máxima en las capas superficiales.

El contenedor presenta un suelo perforado junto a un sistema de criba mecánico que permite descargar el residuo de las capas inferiores del contenedor una vez ha sido vermicompostado. De modo que si se añaden nuevas capas de residuo en la parte superior, al tiempo que se va descargando el vermicompost ya procesado en la parte inferior del reactor, es posible crear

un sistema de vermicompostaje continuo, en el cual las lombrices se mantienen procesando el residuo sin interrupción en las capas más superficiales, mientras se obtiene una descarga del residuo ya procesado y prácticamente libre de lombrices desde la parte inferior del reactor. Estos sistemas se encuentran automatizados, son más eficientes pero requieren de mayor coste y consumo de energía.

- *Vermicompostadores de flujo horizontal.* Es poco frecuente verlos a nivel comercial. Son largos corredores dispuestos horizontalmente en los cuales una estrecha porción en uno de los extremos se rellena con residuo fresco donde se adicionan las lombrices. Adyacentemente pequeñas franjas con residuo fresco se añade periódicamente permitiendo así que las lombrices vayan desplazándose hacia el otro extremo del vermireactor. Como las lombrices se desplazan al otro extremo del vermicompostador el residuo ya procesado va siendo retirado. Es conveniente evitar las capas de residuo muy espesas, que impidan el rápido procesamiento de los residuos por parte de las lombrices.

3.5 Productos finales del proceso de vermicompostaje

Existen una serie de productos del proceso de vermicompostaje, indudablemente el más representativo es el **vermicompost sólido o humus de lombriz**. El vermicompost según el Real Decreto 506/2013 (BOE núm. 164 del 10 de Julio del 2013) de la legislación del Reino de España sobre productos fertilizantes lo incluye en el grupo 6 sobre enmiendas orgánicas y es el producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas que debe cumplir una serie de requisitos para ser comercializado para su aplicación en agricultura (Tabla 2).

Tabla 2. Requisitos que deben cumplir los vermicomposts para su uso en agricultura (Real Decreto 506/2013)

Contenido mínimo en nutrientes (% en masa)	Otra información sobre la denominación del tipo de etiquetado	Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse. Otros criterios
Otros requisitos		
<ul style="list-style-type: none"> • Materia orgánica total: $\geq 30\%$ • Humedad máxima: $\leq 40\%$ • C/N: < 20 • El 90% de las partículas pasarán por la malla de 25 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • pH • Conductividad eléctrica • Relación C/N • Humedad mínima y máxima • Se podrán añadir las denominaciones usuales en el comercio 	<ul style="list-style-type: none"> •Materia orgánica total •C orgánico •N total (si supera el 1%) •N orgánico (si supera el 1%) •P₂O₅ total (si supera el 1%) •K₂O total (si supera el 1%) •Ácidos húmicos •Granulometría •Tipo o tipos de estiércoles empleados

Tabla 3. Límites máximos de microorganismos patógenos y metales pesados permitidos en vermicomposts para su uso en agricultura (Real Decreto 506/2013, Anexo V)

Microorganismos patógenos			
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 NMP (número más probable) g ⁻¹ producto		
<i>Salmonella</i> sp.	Ausente en 25 g de producto		
Metales pesados			
	<u>Clase A</u>	<u>Clase B</u>	<u>Clase C*</u>
Cadmio	0.7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0.4	1.5	2.5
Cromo (Total)	70	250	300
Cromo (VI)	No detectable	No detectable	No detectable

* Los productos de la clase C no podrán aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por ha y año.

Además de estos requisitos, los microorganismos patógenos y las concentraciones de metales pesados contenidos en los vermicompost, correspondientes a las clases A, B y C, no deberá superar los límites establecidos en el anexo 6 del Real Decreto 506/2013 a fin de evitar su transferencia al suelo y a la cadena trófica (Tabla 3).

También el vermicompost queda recogido en el Real Decreto de 865/2010 sobre sustratos de cultivo como sustitutivo de suelo tradicional incluido en grupo 1 (Tabla 4).

Tabla 4. Requisitos que deben cumplir los vermicomposts para su uso como sustratos de cultivo sin suelo (Real Decreto 865/2010).

Especificaciones	Declaraciones obligatorias	Declaraciones opcionales
Materia orgánica sobre materia seca: total: > 30% (m/m)	<ul style="list-style-type: none">• Materia orgánica sobre materia seca• pH• Conductividad eléctrica• Relación C/N• Cantidad en volumen	<ul style="list-style-type: none">•Densidad aparente seca•Volumen de aire•Volumen de agua a 1,5 y 10Kpa•Materia seca•Espacio poroso total•Granulometría

El vermicompost sólido o humus de lombriz puede ser utilizado en la agricultura como enmienda orgánica del suelo, sustrato de cultivo sin suelo o para la supresión de patógenos radiculares de plantas (Hussain y Abassi, 2018; Nogales y col. 2014, Zaller, 2006, 2007). También puede ser utilizado en el medio ambiente para el control de plaguicidas en el suelo (Fernández-Bayo y col. 2007, 2009, 2015, Romero y col. 2006) o para la recuperación de suelos contaminados (Benítez y col. 2004, Romero y col. 2005) o para la descontaminación de aguas mediante sistemas de bioremediación biobeds (Delgado-Moreno y col 2017a, b)

Aparte del vermicompost existen otros productos con valor añadido en el proceso de vermicompostaje como son los lixiviados del vermicompostaje, las lombrices, los téis o los extractos húmicos, los cuales vamos a describir brevemente a continuación:

- **Té de vermicompostaje** es el extracto acuoso del vermicompost en el cual los microorganismos, materia orgánica y nutrientes son transferidos desde el material sólido a una solución líquida mediante un proceso, con o sin aire, que se lleva a cabo a temperatura ambiente (Scheuerell y Mahafee, 2002).

Los téis de vermicompost os productos líquidos de un color marrón, variando de claro a oscuro, que se caracterizan por contener concentraciones variables de microorganismos diversos, nutrientes vegetales solubles, ácidos húmicos y fúlvicos y sustancias orgánicas bioactivas. Las características químicas y biológicas de los diferentes téis de vermicompost varían dependiendo de las características del vermicompost particular usado, así como, del sistema y proceso de elaboración del producto y de los diferentes factores que lo afectan (Salter y Edwards, 2011, Sceuerell y Mahafee, 2004; Gershuny, 2011)

- Las **sustancias húmicas** (ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) de productos orgánicos como leonardita, turba y lignitos se extraen a nivel industrial con soluciones alcalinas, preferentemente hidróxido potásico. A partir de este extracto, los ácidos fúlvicos pueden separarse de los ácidos húmicos por precipitación de estos últimos en medio ácido, los cuales una vez precipitados pueden volver a ser redisueltos en medio alcalino (Yakimenko y Terekhova, 2011).

El Real Decreto 205/2013 y la Orden PRE/630/2011 sobre productos fertilizantes incluye a los ácidos húmicos en el grupo 4 (otros abonos y productos especiales), que son definidos como productos obtenidos por tratamiento o procesado de lignito, leonardita o alguna de las enmiendas orgánicas del grupo VI, que contiene fundamentalmente ácidos húmicos. Según la normativa en estos productos el contenido mínimo de ácidos húmicos totales deben ser superior al 7% y las sustancias húmicas totales deben representar al menos el 15% sobre el total de la masa.

- Los **lixiviados** producidos por la aplicación de un exceso de agua en los procesos de vermicompostaje son recogidos en dispositivos para ser posteriormente utilizados como fertilizantes líquidos en cultivos con suelo o como soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos. Los lixiviados producidos durante el proceso de vermicompostaje se caracterizan por una conductividad moderada principalmente debida a la presencia de sales inorgánicas, muchas de ellas de importantes nutrientes vegetales como el K y B. El contenido de

sales depende del tipo de residuo orgánico procesado durante el vermicompostaje, este usualmente es demasiado alto para que los lixiviados sean usados directamente como fertilizantes líquidos, lo que fuerza a una dilución previa antes de su uso. También podemos añadir que los lixiviados tienen una escasa carga microbiana en comparación con la que contienen los téis de vermicomposts.

El empleo de los lixiviados del proceso de vermicompostaje como fertirrigantes o como soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos mejora la germinación, crecimiento y rendimiento y calidad de cultivos. Este hecho ha sido observado en diferentes estudios aplicando diferentes diluciones de lixiviados de vermicompostaje sobre diferentes cultivos como la fresa (Singh y col., 2010), el maíz (García-Gómez y col., 2008), el rábano (Gutiérrez-Miceli y col., 2011) o el tomate (Tejada y col., 2008). En comparación con los fertilizantes químicos, los lixiviados de procesos de vermicompostaje ejercen un efecto similar o incluso mayor sobre la productividad de cultivos (Benítez y col., 1996)

- Las **lombrices** al final del proceso de vermicompostaje tienen que ser retiradas del producto ya que está estipulado que estas no aparezcan en el producto final. Por otra parte la separación de las lombrices del proceso de vermicompostaje es un paso necesario para la maduración final del producto. Generalmente las lombrices son reutilizadas para comenzar otro proceso de vermicompostaje pero en algunos sistemas, sobre todo en aquellos que se producen a gran escala, la producción final de lombrices puede ser tan elevada que requiere dar salida a este subproducto en el proceso de vermicompostaje. Las lombrices pueden ser utilizadas vivas para alimentación animal de peces, cerdos, aves... y en pastas y harinas de lombriz para alimentación animal. Fundamentalmente son utilizadas en este último caso, se las somete a un baño de agua durante 8 horas para eliminar impurezas adheridas a su cuerpo y restos en el tracto intestinal (Nogales y col. 2014)

Existen estudios que constatan los efectos positivos que produce la suplementación con harinas de lombriz de alimentos y piensos destinados para

alimentación de peces (Guerrero, 1993), aves (Loh y col., 2009) y cerdos (Jinyon y col., 1982). Es por este motivo que las harinas y pastas de lombrices se utilizan como ingrediente, aditivos y suplementos para balancear ciertos piensos para animales.

4. Residuos orgánicos en el medio rural

De acuerdo a la Ley 45/2007, para el desarrollo sostenible del medio rural, se entiende por medio rural al espacio geográfico formado por la agregación de municipios o entidades locales menores definidos por las administraciones competentes que posean una población inferior a 30.000 habitantes y una densidad inferior a 100 habitantes por km². El medio se caracteriza por los siguientes hechos: i) Presentan un reducido nivel demográfico y baja densidad poblacional, ii) Su actividad productiva está dedicada fundamentalmente al sector primario, iii) Los núcleos de población son generalmente de pequeño tamaño y iv) Por lo general, desde el punto de vista administrativo, suelen tener escasa capacidad, medios, y cultura urbanística o territorial adecuadas para la gestión derivada de sus nuevas situaciones socioeconómicas.

Las actividades económicas que se realizan en el medio rural básicamente son de tipo agrícola, ganadero, silvícola y minero; actividades que necesitan mucho espacio y baja densidades de población. Además hay que añadirse aquellas industrias manufactureras, por lo general de tipo alimentario, que se basan en los recursos producidos en el propio medio. También es normal que en el medio rural se ubiquen actividades que deben alejarse de los centros urbanos o que requieren abundante terreno, como las bases militares, prisiones, centros turísticos, e incluso campus universitarios. Por último en el medio rural es donde se encuentran los ámbitos de mayor interés ecológico o los espacios de mayor biodiversidad y riqueza (reservas y parques naturales), al igual que bienes patrimoniales, arqueológicos y culturales de elevado interés.

Pese al masivo éxodo rural que tuvo lugar durante las décadas de los sesenta y setenta, España todavía posee una importante población rural; sobre

todo si se considera como tal la residente en municipios menores de 10000 habitantes, indicadora que resulta fundamental especialmente en áreas de hábitat disperso. De los 8111 municipios existentes en España, casi el 92% tenían una población inferior a 10000 habitantes, con morfología y funcionalidad mayoritariamente rural. Estos municipios concentraban una población cercana a los 8 millones y medio de habitantes, lo cual representa un 17,7 % del total nacional (Figura 4).

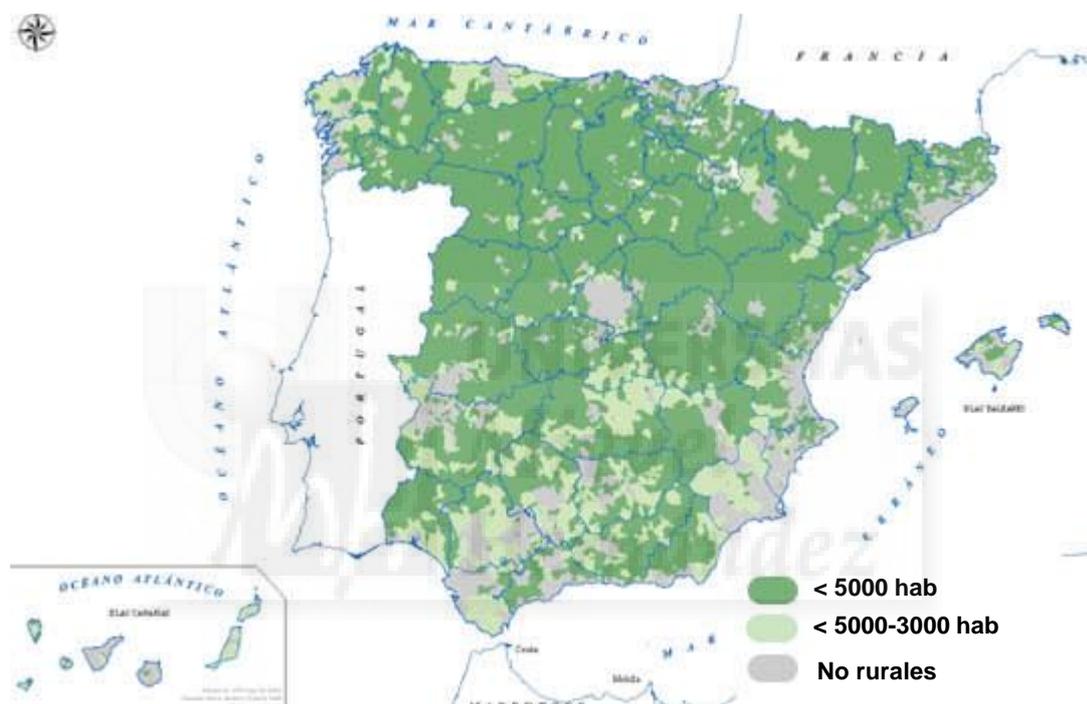


Figura 4. Distribución de la población rural en España

Las principales actividades en el medio rural son de tipo agrícola, ganadero, silvícola y minero. Por tal motivo, los residuos que se generen en ese medio serán mayoritariamente procedentes de esas actividades, sin olvidar aquellos de procedencia agroindustrial y los de naturaleza urbana, generados por los propios municipios, aldeas, caseríos, etc., así como los producidos por las industrias manufactureras ubicadas en esas áreas.

4.1. Residuos agrícolas y ganaderos

Los **residuos agrícolas** son la parte de un cultivo que no pertenece a la cosecha como tal o que no tiene los requerimientos mínimos de calidad para poder ser absorbida por el mercado, a todo esto debemos añadir los diferentes restos de los cultivos leñosos en las labores de poda. El mayor problema de estos residuos es debido a las plagas y enfermedades y restos de xenobióticos

Este tipo de residuos tiene unas características generales, las cuales enumeramos a continuación: a) Alto contenido en materia orgánica, b) Por lo general bajo contenido en nutrientes, c) Elevada relación C/N, d) El grado de biodegradabilidad depende de su contenido en hemicelulosa, celulosa, lignina y otros polifenoles.

La actividad agrícola genera una gran cantidad de residuos. Las raíces, hojas o frutos se van descomponiendo y son absorbidas en el suelo, esto mejora las propiedades del suelo cultivado. Los tallos se aprovechan en ganadería como cama o suplemento alimenticio, y existen otros residuos que no se aprovechan en la zona en que son generados, y que es preciso eliminar para facilitar las labores agrícolas.

Los residuos agrícolas se subdividen en:

- *Residuos de cereal.* Los residuos que producen estos cultivos al ser cosechados, son de naturaleza fibrosa como pajas o cañotes. La cantidad de paja generada varía entre 1,4 y 4,3 toneladas por cada hectárea de cultivo en función de la zona. Estos residuos presentan un escaso contenido en lignina
- *Residuos de vegetales verdes* incluyen los residuos procedentes de los cultivos de leguminosas (lentejas, garbanzos, guisantes, patatas y otros cultivos hortícolas (tomate, acelgas, cebollas, etc.). También se incluyen los cultivos forrajeros y raíces o tubérculos extensivos. Se caracterizan por ser residuos con elevada humedad, baja relación C/N y fácil biodegradabilidad. Estos residuos son usados fundamentalmente como forrajeros para el ganado.

• *Residuos de cultivos frutales, olivo, viñedo y platanera.* La poda anual es una exigencia para el cultivo. Son residuos leñosos, con poca humedad, una elevada relación C/N y altos contenidos de celulosas y lignina.

La mayor parte de los residuos vegetales que se producen en España vienen de los cultivos de cereal y seguidos de los oleaginosos (Tabla 5).

Tabla 5. Producción estimada de residuos en España. Miles de toneladas

	2007	2008	2009	2010	2011
Cereales	36.730	36.174	28.098	29.961	34.041
Hortícolas y frutícolas	8.029	7.659	7.997	7.410	7.840
Oleaginosas	8.942	8.288	8.548	9.825	10.776
Otros	35	37	37	39	39

Producción de residuos vegetales generados en los principales cultivos de cada tipo estimados mediante la relación residuo producido/producción de cultivo y la producción total (López y Boluda, 2008; Bernal y Gondar, 2008; FAO, 2014)

Los **residuos ganaderos** son los generados por la actividad ganadera. En este grupo se incluyen los siguientes tipos:

- *Estiércoles sólidos y líquidos* (purines o lisier), que comprenden los productos fecales y de limpieza de los recintos ganaderos
- *Cadáveres de animales* muertos en explotaciones ganaderas o sacrificados por razones sanitarias
- *Residuos sanitarios ganaderos*
- *Papeles, plásticos, etc.* producidos en las explotaciones ganaderas (Rabal, 2001).

Antiguamente las explotaciones ganaderas se encontraban dispersadas por todo el medio rural y contaban con estercoleros para el almacenamiento de los purines que se mezclaban con el estiércol sólido y con paja de cama para su posterior aplicación en el suelo. Actualmente se ha modificado la composición de los residuos ganaderos debido a la concentración de las instalaciones

ganaderas y su elevada densidad animal, así como los nuevos sistemas utilizados los cuales generan que los residuos presenten una elevada proporción de agua.

Se estima, según el Congreso Nacional del Medio Ambiente celebrado del 28 de Noviembre al 1 de Diciembre de 2016 que en España en 2010, se generó 130 millones de toneladas de estiércoles y purines al año, y los sectores que más aportan son el vacuno y el porcino

4.2 Residuos forestales

Los residuos forestales han sido y son una fuente energética muy importante para el ser humano. El bajo precio y la comodidad de manejo de los combustibles fósiles han ido transformando esta fuente de energía en residuos forestales. Los cultivos forestales generan una gran cantidad de residuos debido las tareas de mantenimiento y mejora de las montañas y masas forestales cuando se hacen podas, limpiezas, etc., así como de la tala y corte de los troncos de los árboles para hacer productos de madera. Estos trabajos generan unos residuos que es necesario retirar del bosque ya que constituyen un riesgo muy importante en la propagación de plagas y de incendios forestales. Además, en este grupo se incluyen los residuos producidos por las industrias silvícolas como serradoras o industrias de primera transformación, fabricantes de productos elaborados de madera y fabricantes de corcho y pasta de papel.

Según la publicación La biomasa forestal. Gestión y viabilidad en España, la biomasa procede mayoritariamente de la gestión de los bosques españoles y, estos, tienen el potencial suficiente para, siendo manejados de manera sostenible, dotar al sector de la madera de suficiente cantidad de biomasa para todos los usos. Así, la estimación del potencial de biomasa forestal procedente de restos de aprovechamiento existente en nuestro país asciende a 16.796.350 toneladas/año.

4.3. Residuos de agroindustrias

En el medio rural, alrededor de la industria agrícola y ganadera surge la industria agroindustrial, la cual se encarga de transformar los productos agrícolas y ganaderos del sector agrícola y ganadera. En la industria agroambiental se generan gran cantidad de residuos y de muy diversa índole, algunos de ellos se exponen a continuación por tipo de industria:

- Cárnicas: Aguas residuales, huesos, grasas y sangre
- Transformación del pescado: Restos de pescado
- Lácteas: Lactosuero, aguas y lodos residuales
- Molinería: Residuos cerealísticos y tierra
- Café y Chocolate: Cáscaras de café y cacao
- Oleícolas: Orujos, alperujo, huesos y cenizas
- Azucareras: Bagazo, cachazas, vinazas y lodos
- Vitivinícolas: Raspón, hollejos, orujos, vinazas y lodos
- Arroceras: Cascarillas
- Cerveceras: Restos de lúpulo y malta y lodos residuales
- Transformación de hortalizas: Restos de orgánicos diversos
- Textiles: Fibras, semillas y polvos de telares

Aunque no existen datos precisos sobre la cantidad de residuos agroindustriales de naturaleza orgánica, las estimaciones de algunos de ellos se exponen a continuación (García-Moreno y col., 2015):

- *Alperujo*, principal residuo generado durante la extracción del aceite de oliva previamente centrifugación por dos fases= $3 \cdot 10^6$ - $4 \cdot 10^6$ toneladas/campaña
- *Orujo fresco vinícola*: principal residuo del proceso de elaboración del vino compuesto principalmente por piel u hollejos, semillas y restos de pulpa= $6 \cdot 10^5$ - $7 \cdot 10^5$ toneladas/campaña
- *Lías*: Residuo generado en los procesos de fermentación del vino= $25 \cdot 10^4$ - $30 \cdot 10^4$ toneladas/campaña

- *Residuos generados en la elaboración de transformados vegetales:* Valores muy variables, entre un 65% para el caso del cardo a un 15 % para el tomate
- *Bagazo:* principal residuo orgánico sólido generado durante la producción de cerveza= 17-23 kg/hl cerveza envasada
- *Residuos generados en el procesado de pescados y mariscos:* entre 42 y 115 kg residuo/tonelada producto congelado.

4.4 Residuos urbanos

Los residuos urbanos son aquellos residuos generados en cualquier asentamiento humano, ya sea en grandes ciudades o en pequeños núcleos de población como pedanías, aldeas, pueblos o casas aisladas. La gestión de los residuos urbanos supone uno de los mayores retos de nuestra época. La cantidad de residuos generados en los municipios o pequeños asentamientos de población es un poco inferior a la generada en las grandes ciudades. El mayor problema en la gestión de los residuos orgánicos se observa en la recogida de estos en los pequeños núcleos de población, este aspecto es debido a la dispersión de pequeños asentamientos en vastas extensiones de territorio, como es el caso de la provincia de Teruel, la cual tiene una población similar por kilómetro cuadrado a la Región de Laponia. Es por ello que los residuos se acumulan en vertederos controlados, los cuales se encuentran relativamente próximos a los núcleos urbanos. La cantidad de residuos sólidos urbanos generados por habitante y día en el medio rural es inferior (0.5-1 kg/hab/día) a la media nacional (1.3 kg/hab/día, año 2014), lo cual supone una producción total anual cercana a los 4.5 10⁶ toneladas.

Las empresas responsables de la gestión de residuos urbanos recogieron 22,2 millones de toneladas de residuos en 2015. De éstos, 18,3 millones correspondieron a residuos mezclados y 3,9 millones a residuos de recogida separada. En términos per cápita, en España se recogieron 478,3 kilogramos de residuos por persona y año, un 4,2% más que en 2014. La cantidad de residuos sólidos urbanos generados por habitante y día en el medio rural es inferior (0.5-1 kg/hab/día) a la media nacional (1.3 kg/hab/día, año 2015). Los

principales residuos recogidos de forma separada son papel y cartón (25,9% del total), animales y vegetales (20,3%) y vidrio (19,4%) (Tabla 6).

Tabla 6. Recogida de residuos de forma separada. Año 2015. Miles de toneladas.

Residuos de recogida separada	Cantidad	% del total
Total	3892.7	100
Papel y cartón	1009	25.9
Animales y vegetales	789.9	20.3
Vidrio	755.6	19.4
Otros	594.8	15.3
Envases mixtos y embalajes	592.4	15.2
Madera	87.8	2.3
Equipos electrónicos y electrónicos desechables	63.3	1.6

5. Aplicabilidad del vermicompostaje para valorizar residuos orgánicos del medio rural.

En este capítulo se va diseñar una planta de vermicompostaje con posibles residuos orgánicos de una comarca agropecuaria de la provincia de Teruel, una provincia con una gran extensión aun dedicada al sector primario y con una fuerte vinculación con el medio rural. La población de la provincia de Teruel es de 135562 habitantes, de los que el 11,69% se dedica al sector agropecuario (Figura 5)

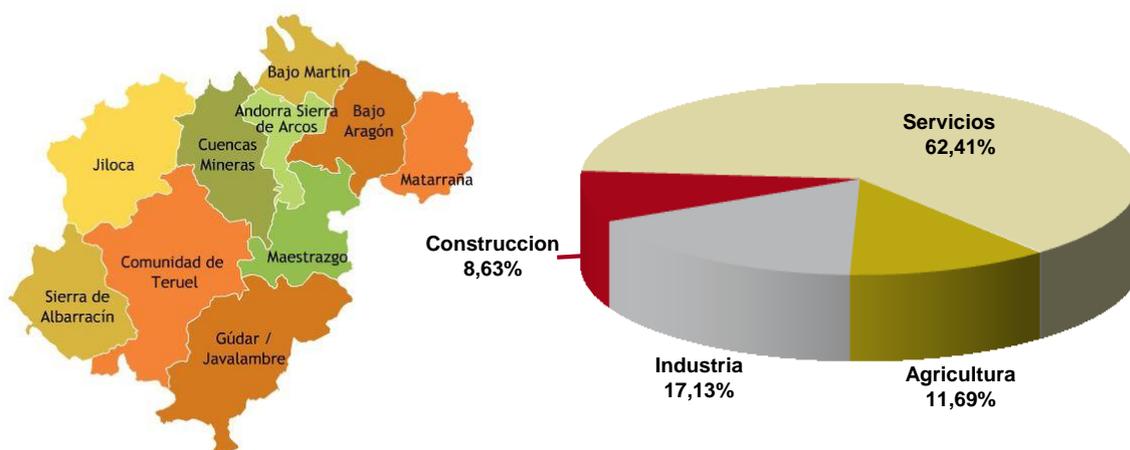


Figura 5. Comarcas de la provincia de Teruel y distribución de la población ocupacional por sectores económicos

Según información estadística de Aragón para el año 2017, las tierra de Teruel se distribuye principalmente en cultivos de cereal de secano y en cultivos de leñosos de secano, como son los frutales y el olivar (Tabla 7).

Tabla 7. Superficie agrícola (hectáreas) según cultivo de la provincia de Teruel

	Total	Secano	Regadío
Cereales para grano	181855.4	166572.5	15282.8
Leguminosa para grano	4199.5	3785.3	414.2
Patata	309.6	131.9	177.8
Cultivos industriales	3892.6	3539	353.6
Cultivos forrajeros	19121.1	17476.5	1644.6
Hortalizas, melones, fresas	351.3	100.6	250.7
Flores, plantas ornamentales	10.5	6.3	4.2
Semillas y plántulas	4	0	4
Frutales	22051.5	19378.9	2672.6
Olivar	22966	21044.1	1821.9
Viñedo	1728.5	1622.8	116
Barbecho	124406.2		

Instituto Aragonés de Estadística. Año 2017

La cabaña ganadera de la provincia de Teruel está conformada principalmente por el sector ganadero del porcino, con más de 900.000

cabezas, seguido por el sector ovino con más de 650.000 cabezas y en clara regresión en los últimos años (Tabla 8).

Tabla 8. Cabaña ganadera de la provincia de Teruel

	Número
Nº unidades ganaderas	351949
Nº cabezas ganado Bovino	380022
Nº cabezas ganado Ovino	672841
Nº cabezas ganado Caprino	13509
Nº cabezas ganado Porcino	914421
Nº cabezas ganado Equino	639
Aves (excepto avestruces)	2479433
Conejas (hembras reproductoras)	77322
Colmenas	13570

Instituto Aragonés de Estadística. Año 2017

Con estos datos extraídos del Instituto Aragonés de Estadística se puede observar la diversidad tanto de residuos agrícolas y ganaderos potencialmente utilizables para la realización de procesos de vermicomposts y la producción de vermicompost. Es evidente que gran parte de los residuos generados en las diferentes explotaciones sirven para el mantenimiento de los campos con el abono de los residuos ganaderos y a su vez los residuos agrícolas sirven como forraje para la alimentación animal. En cualquier caso la cantidad de residuos generados en ambos sectores, tanto el agrícola como el ganadero es potencialmente utilizable para hacer vermicompost.

Como se ha mencionado en apartados anteriores existen varias posibilidades en cuanto a la escala de los procesos de vermicompostaje y a los sistemas de vermicompostaje. En este caso se va a diseñar una planta a escala comercial o industrial y de alimentación discontinua.

La planta en cuestión debe contar principalmente con un área de recepción y adecuación de residuos, donde el residuo debe ser preparado para la inoculación de lombrices de la especie *Eisenia fetida*, un área de

vermicompostaje, área de cría y el área de almacén y procesado final del producto. Sin embargo, utilizar solamente lombrices, exige mayor consumo de recursos y de mano de obra y agua, particularmente, en ocasiones puede superar los 50 litros por lecho al día (Bollo, 2003). Es por ello que se ha optado simultanear con un proceso de compostaje, mediante sistema de pilas con volteos, para reducir costes y facilitar que una parte de la etapa de maduración de ese proceso se realice mediante proceso de vermicompostaje. En base a ello, la planta de procesamiento de residuos agrícolas y ganaderos debe ubicar diferentes áreas o zonas, de diferentes tamaños como se expone en la tabla 9 y figuras 6 y 7.

Tabla 9. Áreas que componen la planta de compostaje y vermicompostaje diseñada para el tratamiento de residuos orgánicos agrícolas y ganaderos de una comarca agropecuaria de la provincia de Teruel

ZONA	Área	m ²	Hectáreas
1	Oficina administrativa y de ventas	300	0.03
2	Recepción de residuos orgánicos	40000	4
3	Pilas de compostaje	120000	12
4	Cría o stock de lombrices	9000	0.9
5	Literas de vermicompostaje	600000	6
6	Superficie para maquinaria	1000	0.1
7	Afino y almacenamiento de productos	2000	0.2
8	Caminos, otros	7700	0,77
	Total	240000	24

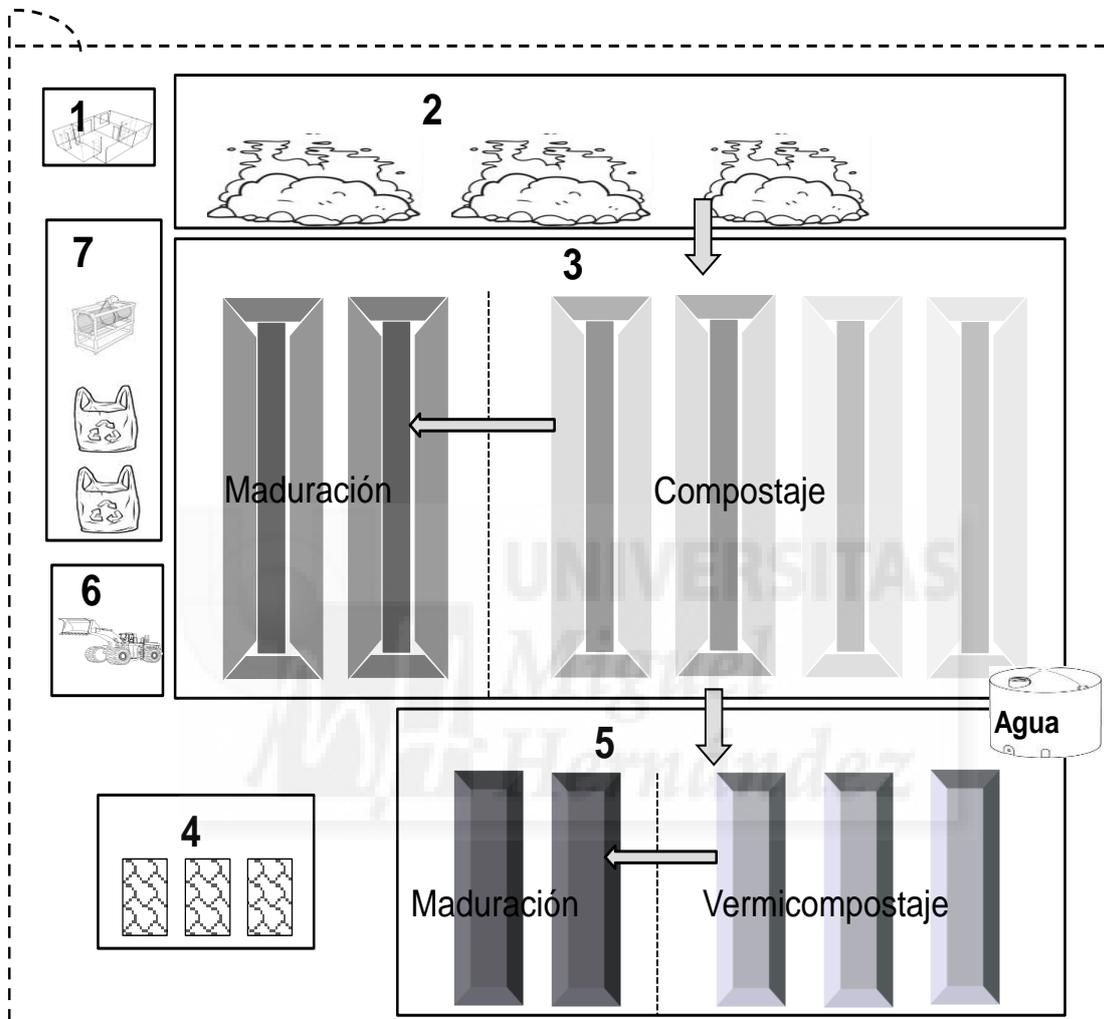


Figura 6. Esquema de la planta de compostaje y vermicompostaje de residuos agrícolas y ganaderos.



Figura 7. Esquema fotográfico de la planta de compostaje y vermicompostaje de residuos agrícolas y ganaderos. 1. Oficina administrativa y de ventas, 2, Área de recepción de residuos orgánicos, 3. Área de compostaje, 4. Área de stock de lombrices, 5. Área de vermicompostaje, 6. Área de maquinaria, 7. Área de afinado y almacenamiento de productos.

En el área de vermicompostaje (área 5) se disponen las hileras de vermicompostaje con un ancho de entre 1,2 y 1,5 metros y entre 20 y 60 metros de largo, dejando entre las literas una distancia de entre 3 y 4 metros (Figura 8). El espesor de las hileras no suele superar los 50 centímetros ya que una cantidad mayor genera problemas con la temperatura y compacta en exceso el residuo dando problemas de movilidad a la población de lombrices.

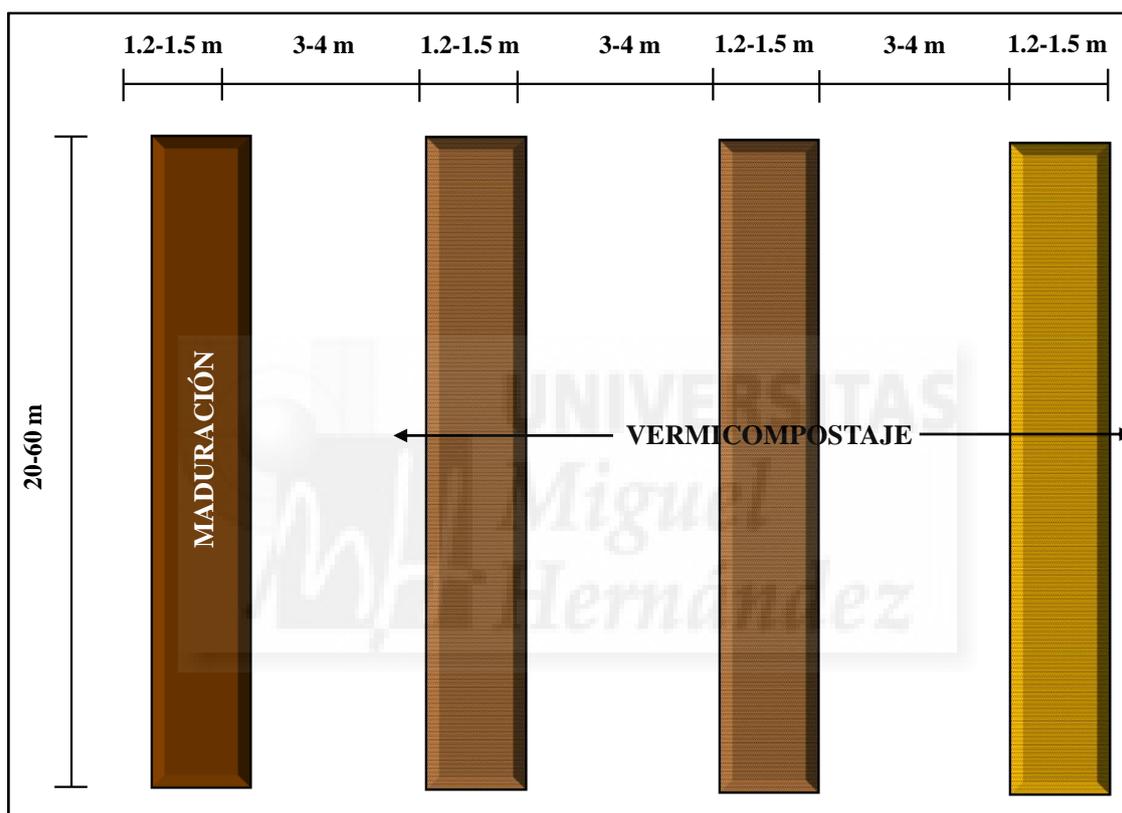


Figura 8. Esquema de la ubicación de las literas en el área 5 de la planta de compostaje y vermicompostaje discontinuo de residuos agrícolas y ganaderos

6. Últimas investigaciones sobre vermicompostaje: estudio bibliométrico

Para el estudio bibliométrico sobre últimas investigaciones sobre vermicompostaje, se han considerado los últimos 10 años, desde el 1 de Enero de 2008 hasta el 31 de Diciembre de 2017. Se ha utilizado la base de datos bibliográficos de Scopus (<https://www.scopus.com/search/>) que es una base de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas. Cubre

aproximadamente 18.000 títulos de más de 5.000 editores internacionales, incluyendo la cobertura de 16.500 revistas revisadas por pares de las áreas de ciencias, tecnología, medicina y ciencias sociales, incluyendo artes y humanidades. Está editada por Elsevier y es accesible en la Web para los suscriptores. Las búsquedas en Scopus incorporan búsquedas de páginas web científicas mediante Scirus, también de Elsevier, y bases de datos de patentes. Para la búsqueda se ha utilizado como palabra clave **“vermicomposting”**

a) Número de documentos sobre vermicompostaje.

El número de documentos durante el periodo 2008-2017 que aparecen en la base de datos bibliográficos de Scopus utilizando la palabra vermicomposting es de 785. El mayor número de ellos aparecen en los años 2016, 2017 y 2014 (Figura 9).

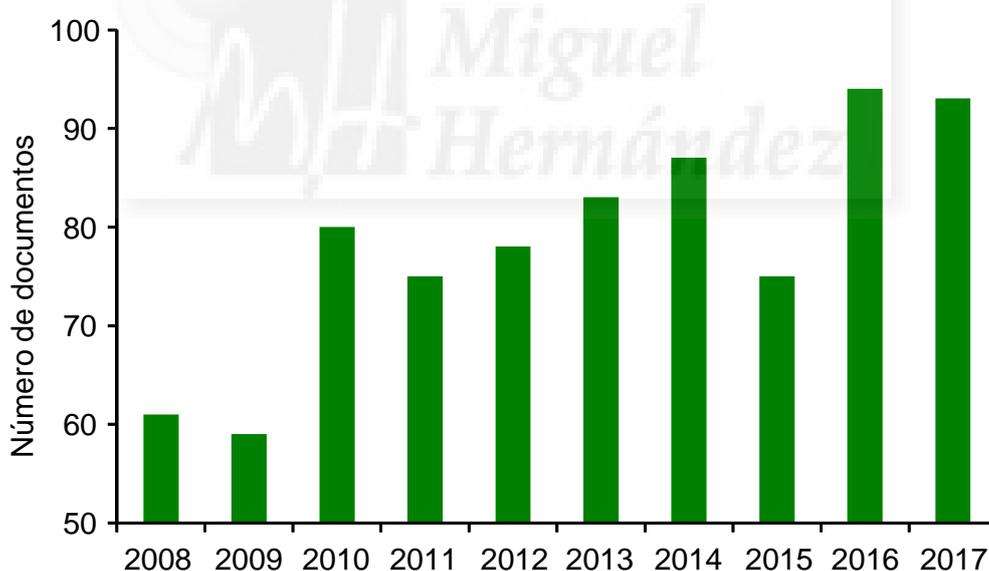


Figura 9. Numero de publicaciones por año recogidos en Scopus utilizando la palabra “vermicomposting”

b) Tipo de documentos

Más del 86% de los documentos recogidos en la base Scopus relacionados con el vermicompostaje son artículos científicos originales aparecidos en revistas científicas de reconocido prestigio (Figura 10).

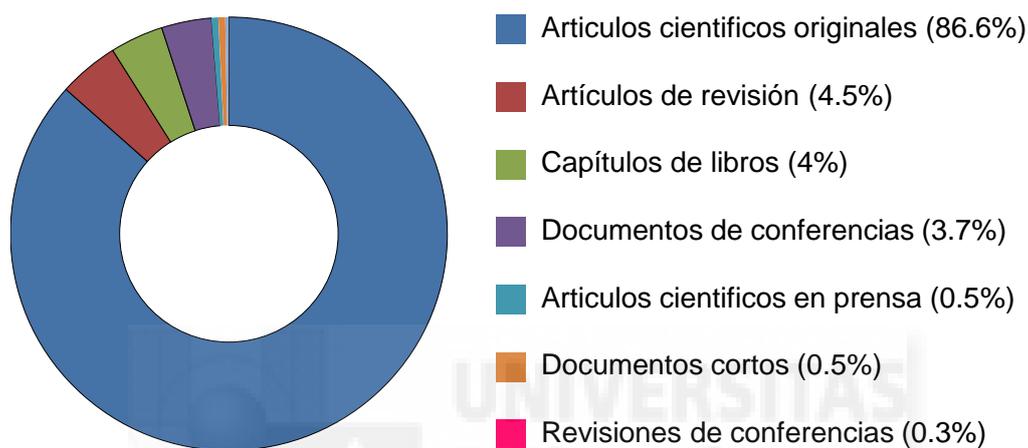


Figura 10. Tipos de documentos recogidos en Scopus utilizando la palabra "vermicomposting"

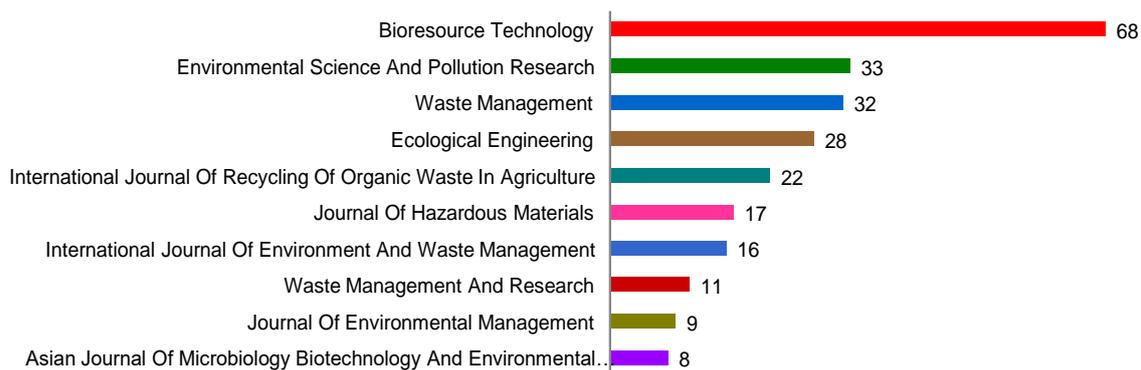


Figura 11. Número de artículos científicos sobre vermicompostaje en las 10 principales revistas científicas recogidas en Scopus

Los artículos científicos originales aparecen recogidos en 145 revistas científicas de diferentes editoriales. La revista científica con mayor número de

artículos sobre vermicompostaje es Bioresource Technology, seguida de Environmental Science and Pollution Research y Waste Management (Figura 11)

c) Documentos por países

En 66 países se han realizado estudios sobre vermicompostaje, que posteriormente han sido publicados. El 45% de esos documentos proceden de instituciones científicas de la India. España ocupa el tercer lugar en producción científica mundial sobre vermicompostaje con un total de 54 artículos científicos (Figura 12).

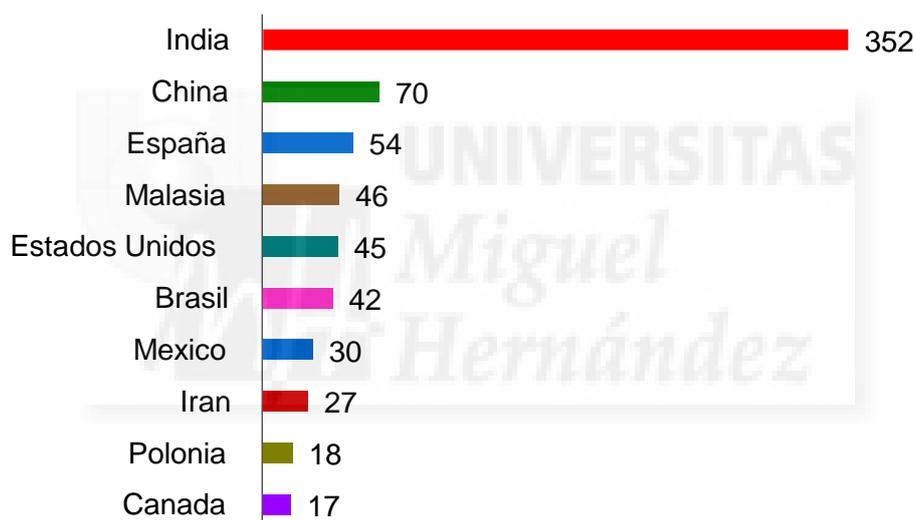


Figura 12. Países del mundo con mayor número de artículos científicos sobre vermicompostaje

d) Documentos por autor

En la elaboración y redacción de los 785 documentos sobre vermicompostaje de los últimos 10 años han participado un total de 174 investigadores. En la figura se exponen los 10 primeros autores a nivel mundial por número de artículos publicados sobre vermicompostaje.

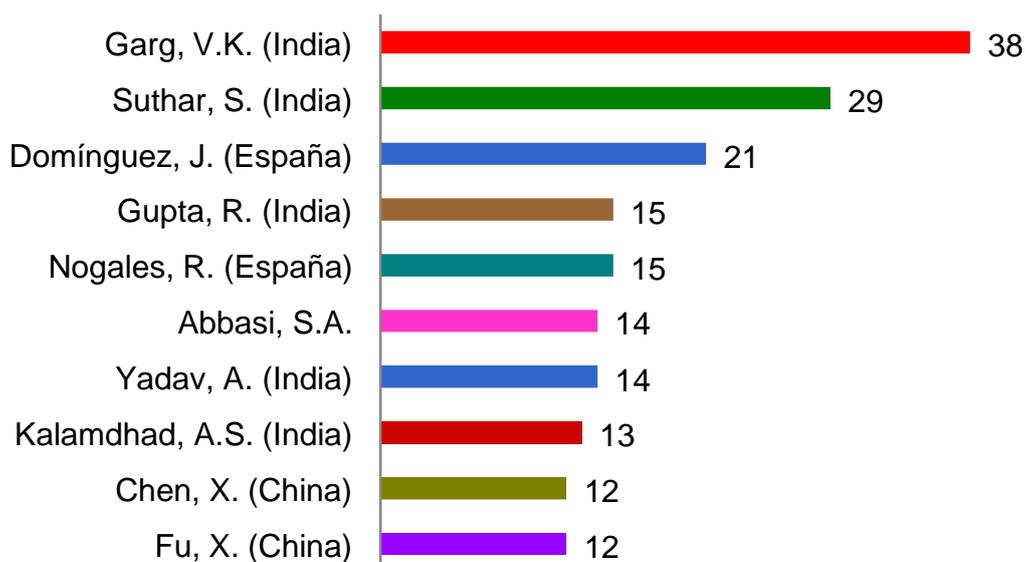


Figura 13. Diez primeros autores por número de publicaciones sobre vermicompostaje en los últimos diez años.

e) Publicaciones por Instituciones académicas y científicas

Los investigadores participantes en las diferentes publicaciones sobre vermicompostaje pertenecen a 122 instituciones académicas y científicas. Las 10 primeras por número de publicaciones se exponen en la figura 14.

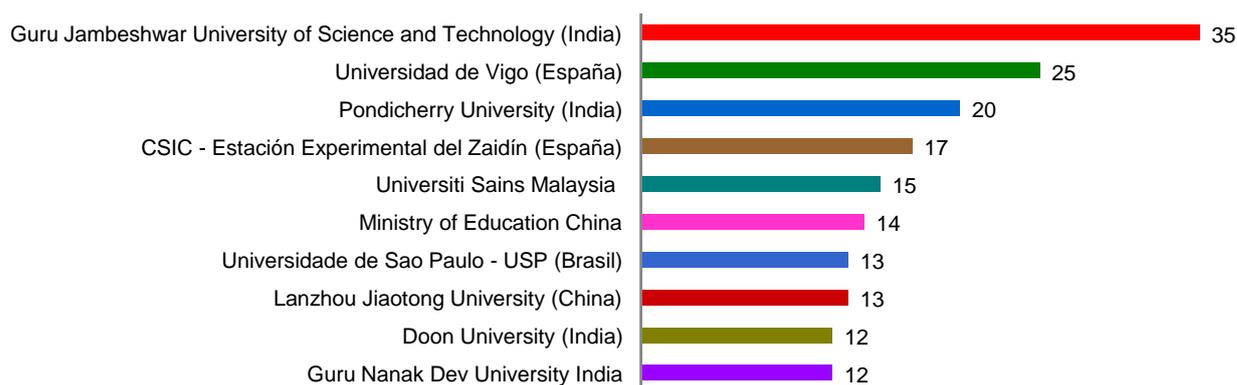


Figura 14. Diez primeras instituciones académicas y científicas por número de publicaciones sobre vermicompostaje.

f) Publicaciones por áreas científicas

Los estudios realizados sobre vermicompostaje y recogidos en las 785 publicaciones durante el periodo 2008-2017 tienen un carácter multidisciplinar y transversal, por lo que ellos son recogidos, a su vez en diferentes áreas científicas. En la base de datos de Scopus, mayoritariamente aparecen en el área de las ciencias del medio ambiente (>65%), seguido por las áreas de Agricultura (>26%) y de Ingeniería Química (>13%) (Figura 15).

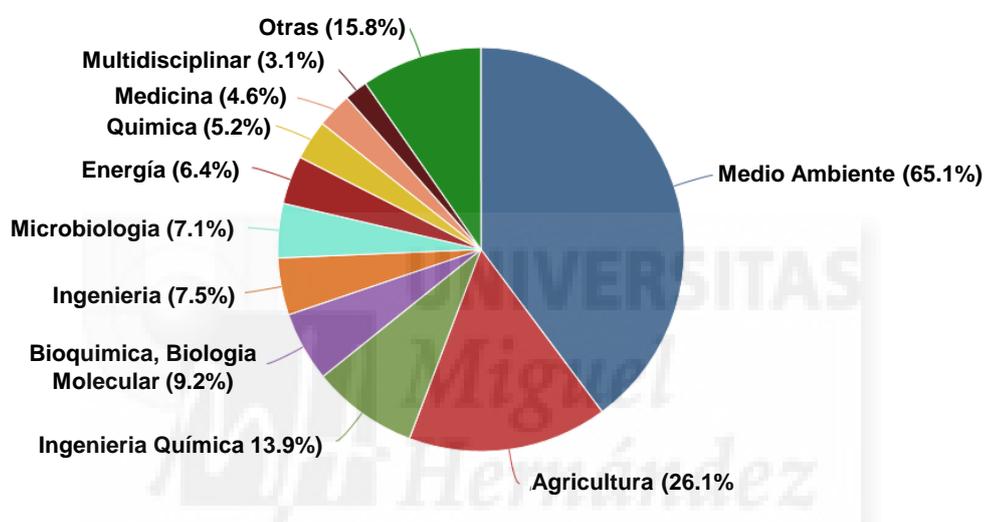


Figura 15. Porcentaje de publicaciones sobre vermicompostaje según área científica

g) Resumen de las principales publicaciones científicas relacionadas con el vermicompostaje durante el periodo 2008-2017

A modo de ejemplo, se han seleccionado cinco publicaciones de los primeros cinco autores que han publicado un mayor número de artículos sobre vermicompostaje en el periodo 2008-2017 y que a su vez, esas publicaciones tienen un mayor con un mayor impacto científica en función del número de citas bibliográfica ponderado por campo científico (Field-Weighted Citation Impact). En cada uno de esos artículos se incluye su correspondiente resumen (abstract).

1. Gupta, R., Garg, V.K. 2008. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. Journal of Hazardous Materials, 153, 1023-1030. Field-Weighted Citation Impact: 4.81

Abstract

In India, over the last few decades, there has been a remarkable increase in sewage sludge production due to population increase and unplanned urbanization. The aim of the present study was to investigate the ability of an epigeic earthworm *Eisenia foetida* to transform primary sewage sludge (PSS) amended with cow dung (CD) into value added product, i.e., vermicompost in laboratory scale experiments. Two approaches investigated in the study were: (1) evaluation of vermistabilization of PSS and CD mixtures after 15 weeks in terms of fertilizer quality of the products and; (2) growth and reproduction of *Eisenia foetida* up to 11 weeks in different vermireactors. In all the PSS and CD mixtures, a decrease in pH, TOC and C:N ratio, but increase in EC, TKN, TK and TP was recorded. The heavy metals' content in the vermicomposts was higher than initial mixtures. Maximum worm biomass was attained in 10% PSS + 90% CD mixture while, the worm growth rate was highest in 30% PSS + 70% CD feed mixture. It was inferred from the study that addition of 30–40% of PSS with CD had no adverse effect on the fertilizer value of the vermicompost as well as growth of *Eisenia foetida*. The results indicated that PSS could be converted into good quality manure by vermicomposting if mixed in appropriate ratio (30–40%) with cow dung.

2. Suthar, S. 2009. Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. Ecological Engineering, 35, 914-920. Field-Weighted Citation Impact: 5.06

Abstract

Vegetable-market solid waste is produced in millions of tones in urban areas and creates a problem of safe disposal. The aim of this study was to convert vegetable solid waste (VW) amended with wheat straw (WS), cow dung (CD),

and biogas slurry (BGS) into vermicompost using earthworm *Eisenia fetida*. VW was mixed in bulky materials (WS, CD, and BGS) in different ratios to produce eight different combinations for laboratory screening of wastes for 15 weeks. The vermicomposting caused a decrease in organic C (12.7–28%) and C:N ratio (42.4–57.8%), while increase in total N (50.6–75.8%), available P (42.5–110.4%), and exchangeable K (36.0–78.4%) contents. Waste mineralization and humification rates were higher in bedding those containing easy digestible bulky agents, i.e., BGS and CD. Worm-processed material obtained from BGS:VW (1:2) vermibed showed the higher total N (31.3 g kg⁻¹), available P (8.7 g kg⁻¹) and exchangeable K (20.7 g kg⁻¹) contents. The nutrient-rich vermicompost with acceptable C:N ratio ranges ($\geq 1:20$) indicates its agronomic potentials. Waste mixtures also supported the earthworm growth and reproduction rates in vermibeds. The results indicated that vermicomposting can be an efficient technology to convert negligible vegetable-market solid wastes into nutrient-rich biofertilizer if mixed with bulking materials in appropriate ratios.

3. Lazcano, C., Gómez-Brandon, M. Domínguez, J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. Chemosphere, 72, 1013-1019. Field-Weighted Citation Impact: 3.65

Abstract

Cattle manure is produced in large quantities in industrial breeding facilities and the storage and/or spreading of this waste on land may cause contamination of the atmosphere, soil and water. The aim of the present study was to evaluate the effectiveness of the active phases of composting, vermicomposting, and also a combination of composting and vermicomposting for reducing the polluting potential and for stabilizing cattle manure in the short-term. For this, the degree of decomposition as well as the microbial activity and microbial composition of the resulting products after the active phase of composting and vermicomposting were analysed. None of the treatments significantly reduced the dissolved organic carbon and dissolved organic nitrogen contents relative to

the control, and therefore more time may be required for stabilization. Nevertheless, the lowest values of microbial biomass and activity corresponded to the earthworm-worked substrates, in which fungal growth was also promoted; the combined treatment (composting + vermicomposting) was the most effective in terms of stabilizing the cattle manure. Moreover, earthworms promoted the retention of nitrogen and gradual release of P, as well as a reduction in electrical conductivity, thereby producing improved substrates for agricultural use.

4. Garg, V.K., Gupta, R. 2011. Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 74, 19-24. Field-Weighted Citation Impact: 1.74

Abstract

This paper reports the optimization of cow dung (CD) spiked pre-consumer processing vegetable waste (PPVW) for vermicomposting using *Eisenia fetida* in a laboratory scale study. Vermicomposting process decreased carbon and organic matter concentration and increased N, P and K content in the vermicompost. The C:N ratio was decreased by 45–69% in different vermireactors indicating stabilization of the waste. The heavy metal content was within permissible limits of their application in agricultural soils. It has been concluded from the results that addition of PPVW up to 40% with CD can produce a good quality vermicompost. Whereas, growth and fecundity of *E. fetida* was best when reared in 20% PPVW+80% CD feed mixture. However, higher percentages of PPVW in different vermireactors significantly affected the growth and fecundity of worms.

5. Castillo-Díaz, J.M., Nogales, R., Romero, E. 2013. Dynamics of microbial communities related to biochemical parameters during vermicomposting and maturation of agroindustrial lignocellulosic wastes. Bioresource. Technology, 146, 345-354. Field-Weighted Citation Impact: 1.88

Abstract

Scarce information is available on the changes in abundance of microbial taxa during vermicomposting. Quantitative PCR and DGGE analysis were used to monitor variations in the microbial structure, relative abundance of four bacterial classes and fungi over the vermicomposting and maturation period of wet olive cake (O) and vine shoots (W). Multivariate correlation analysis between microbial structure and abundance, earthworm biomass and enzyme activities revealed similar and divergent interactions in both processes. Although *Eisenia fetida* development was different, significant correlations were found with β -glucosidase activity and with bacterial and fungal structure. In the vermicomposting period of O and W, a decline was found in bacteria (94% and 77%), fungi (93% and 94%), and Gammaproteobacteria (56% and 71%) but an increase in Betaproteobacteria and Actinobacteria (62-79%). Alphaproteobacteria increased only in O (26%). Despite the different initial lignocellulose wastes, the mature vermicomposts were similar in microbial and biochemical properties

7. Conclusiones y perspectivas de futuro

La correcta gestión de los residuos orgánicos, su reciclado y valorización constituye una de las claves para el desarrollo sostenible de la sociedad y una estrategia de lucha contra el cambio climático. La adopción por la Unión Europea de un nuevo modelo económico basado en la economía circular prioriza la adecuada gestión de los residuos, minimizando su generación y optimizando las vías de reciclado y valorización de aquellos cuya producción no se haya podido evitar, con el objetivo último de conseguir el vertido cero.

El vermicompostaje o compostaje con lombrices es un proceso biotecnológico limpio y consolidado que permite la biodegradación y estabilización de residuos orgánicos, bajo condiciones aeróbicas y mesófilas, mediante la acción de lombrices y microorganismos. Sus costes de inversión, energéticos y de mantenimiento son moderadamente bajos, por lo que se considera como una tecnología de bajo coste. Es un proceso aplicado

exitosamente a un gran número de residuos orgánicos, fundamentalmente de tipo ganadero, pero también a otros como los generados por la agricultura, industrias agrícolas, el sector urbano y también aquellos nocivos, insalubres, molestos y de difícil gestión.

Los factores que regulan el proceso de vermicompostaje (tipo de lombriz, temperatura, humedad, pH, relación C/N, etc) están adecuadamente establecidos. Sin embargo, el conocimiento, funcionalidad y evolución de los microorganismos que participan en la biodegradación de los residuos aun es escaso, lo que cual exige de una experimentación científica, en los próximos años, que permita clarificar su importancia en el proceso de vermicompostaje.

El proceso de vermicompostaje puede realizarse a diferentes escalas y mediante diferentes sistemas. La elección dependerá fundamentalmente del tipo de residuo orgánico a reciclar, su cantidad, área geográfica y los posibles usos que se vayan a efectuar de los productos finales que se obtengan.

El principal producto final del proceso es el vermicompost o humus de lombriz, utilizable como enmienda orgánica del suelo de alta calidad. Otro producto final del proceso, que lo diferencia del compostaje es la producción de una gran biomasa de lombriz, de alto contenido proteico y de alta calidad para alimentación animal, fundamentalmente en los sectores avícola, porcino y piscícola. El té de vermicompost, los extractos húmicos obtenidos a partir del vermicompost y los lixiviados del proceso son otros productos con valor añadido que se obtienen del vermicompostaje.

El proceso de vermicompostaje presenta una gran aplicabilidad en las áreas rurales debido a que en ellas se concentran las actividades agrícolas y ganaderas y, en menor medida las agroindustriales. Además, la dispersión de la población y vías insuficientes posibilitan implantación de estos procesos "in situ" en las explotaciones agropecuarias. En este sentido, la provincia de Teruel cumple con estas especificidades por lo que el establecimiento de sistemas de

vermicompostaje en sus comarcas agrícolas puede ser una estrategia de bajo coste para la gestión de sus residuos orgánicos.

El estudio bibliométrico realizado de los últimos diez años ha dejado patente el interés científico básico y aplicado de los estudios sobre los procesos de vermicompostaje con una media de 78 documentos científicos recogidos en la base de datos de Scopus/año. Ese interés es mayoritario en países en vías de desarrollo, especialmente en la India, aunque España ocupa también un lugar destacado, el tercero por número de documentos científicos del mundo.

En base a los datos aportados en la realización de este Trabajo Final de Master el vermicompost es un producto de alto valor como enmienda orgánica. Dado el problema existente a nivel global en la generación de residuos orgánicos, los cuales aumentan año tras año, este producto puede ser una alternativa, en los próximos años, en la gestión convencional de residuos orgánicos. El proceso de vermicompostaje es práctico y funcional a cualquier escala y permite su manejo en ciclo continuo o discontinuo. El manejo de dicho proceso es sencillo y permite la utilización de una gran variedad de residuos, lo que favorece su implantación en prácticamente cualquier región. El desarrollo e implantación de plantas de vermicompostaje en el territorio nacional fomenta de manera directa e indirecta la creación de puestos de trabajo y de subproductos con alto valor añadido de fácil comercialización en diferentes industrias y sectores. Todo ello genera una economía circular y respetuosa con el medio ambiente, fundamentalmente en zonas rurales donde resulta complicado asentar población.

8. Bibliografía

Aira, M., Monroy, F., Domínguez, J., Mato, S. 2002. How earthworm density affects microbial biomas and activity in pig manure. *European J. Soil Biol.*, 38, pp. 7-10.

- Benítez, E., Elvira, C., Gómez, M., Gallardo-Lara, F., Nogales, R. 1996. Leachates from a vermicomposting process: a possible new fertilizer? En Rodríguez-Barrueco (Ed.) *Fertilizers and Environment*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 323-326.
- Benitez, E., Nogales, R., Elvira, C., Masciandaro, G., Ceccanti, B. 1999a. Enzymes activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting by *Eisenia andrei*. *Biores. Technol.*, 67, pp. 297-303.
- Benítez, E., Nogales, R., Elvira, C., Masciandaro, G., Ceccanti, B. 1999b. Enzyme and earthworms activities during vermicomposting of carbaryl treated sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 28(4) , pp. 1099-1104
- Benítez, E., Sainz, H., Melgar, R., Nogales, R. 2002. Vermicomposting of a lignocellulosic by-product from olive oil industry: a pilot scale study. *Waste Manag. Res.*, 20, pp. 134-142
- Benitez, E. , Melgar, R., Nogales, R. 2004. Estimating soil resilience to toxic waste by measuring enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, pp. 1615-1623.
- Bernal, M.P., Gondar, D.M. 2008. Produccion y gestión de los residuos organicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal. En: Moreno, J., Moral, R. (Eds.). *Compostaje*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, pp 9-42.
- Bollo, E. 2003. *Lombricultura una alternativa de reciclaje*. Primera ed. Digital, p. 142
- Castillo-Diaz, J.M., Nogales, R., Romero, E. 2013. Dynamics of microbial communities related to biochemical parameters during vermicomposting and maturation of agroindustrial lignocellulosic wastes. *Biores. Technol.*, 146, pp. 345-354.
- Chan, P.L.S., Griffiths, D.A. 1988. The vermicomposting of pre-treated pig manure. *Biol. Wastes*, 24, pp. 57-69.

- Delgado-Moreno, L., Nogales, R., Romero, E. 2017a. Wastes from the olive oil production in sustainable bioremediation systems to prevent pesticides water contamination. *Int. J. Environ. I Sci. Technol.* 14, pp. 2471-2484.
- Delgado-Moreno, L., Nogales, R., Romero, E. 2017b. Biodegradation of high doses of commercial pesticide products in pilot-scale biobeds using olive-oil agroindustry wastes. *J. Environ Manag.* 204, pp. 160-169.
- Domínguez, J. 1996. Estudio y comparación de los procesos de compostaje y vermicompostaje. Aplicación práctica al tratamiento de purines de cerdo. Tesis Doctoral de la Universidad de Vigo.
- Domínguez, J., 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. En: Edwards, C.A. (Ed.). *Earthworm Ecology*, second edition. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. pp. 401–424.
- Domínguez, J., Edwards, C.A. 1997. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biol. Biochem.*, 29, pp. 743-746.
- Domínguez, J., Edwards, C.A., Webster, M. 2000. Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia andrei*. *Pedobiol.*, 44, pp. 24–32
- Domínguez, J., Parmelee, R.W., Edwards, C.A. 2003. Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiol.* 47, pp. 53-60
- Domínguez, J., Velando, A., Ferreiro, A. 2005. Are *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouché, 1972 (Oligochaeta, Lumbricidae) different biological species? *Pedobiol.*, 49, pp. 81-87
- Domínguez, J., Aira, M., Gómez-Brandón, M. 2010. Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes, En: Insam, H., Franke-Whittle, I., Goberna, M. (Eds.), *Microbes at Work*. Springer, Berlin, pp. 93-114.
- Drake, H.L., Schramm, A., Horn, M. 2006. Earthworm gut microbial biomes: their importance to soil microorganisms, denitrification, and the terrestrial production of the greenhouse gas N₂O. En: König, H, Varma, A.(Eds.).

- Intestinal Microorganisms of Termites and other Invertebrates. Springer Verlag. New York. pp. 65-87.
- Edwards, C.A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. En: Edwards, C.A. Neuhauser, E.F. (Eds). Earthworms in waste and environment management. SPB Academic Publishing BV, The Hague, Netherland. Pp. 21-31
- Edward, C.A. 2011. Introduction, History, and Potential of Vermicomposting Technology. En: Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Sherman, R. (Eds.). Vermiculture Technology. CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, pp 1-10
- Edwards, C.A., Fletcher, K.E., 1988. Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown. Agric. Ecos. Environ., 24, pp. 235-247.
- Edwards, C.A., Bohlen, P.J. 1996. Biology and Ecology of Earthworms. Chapman and Hill, London
- Edwards, C.A., Subler, S., Arancon, N. 2011. Quality Criteria for Vermicomposts. En: Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Sherman, R. (Eds.). Vermiculture Technology. CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, pp. 287-302
- Elvira, C., Mato, S., Nogales, R. 1995. Changes in heavy metal extractability and organic matter fractions after vermicomposting of sludges from a paper industry and wastewater treatment plant. Fresenius Environ. Bull. 4, pp. 503-507.
- Elvira, C., Goicoechea, M., Sampedro, L., Mato, S., Nogales, R. 1996. Bioconversion of solid paper pulp mill sludge by earthworms. Biores. Technol. 57, pp. 173-177.
- Elvira, C., Sampedro, L., Domínguez, J., Mato, S. 1997. Vermicomposting of wastewater sludge from paper-pulp industry with nitrogen rich materials. Soil Biol. Biochem. 29, pp. 759-762
- Elvira, C., Sampedro, L., Benítez, E., Nogales, R. 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: a pilot scale study. Biores. Technol. 63, pp. 205-211.

- Elvira, C., Sampedro, L., Nogales, R. 1999. Suitability of sludges from dairy and paper industries for growth and reproduction of *Eisenia andrei*. *Pedobiol.* 43(6), pp. 766-770.
- FAO, 2014. FAOSTAT-Produccion agrícola. Disponible en la pagina web: <http://faostat.fao.org>
- Fernández-Bayo J.D., Nogales, R., Romero, E. 2007. Improvement of Imidacloprid (Confidor®) soil-sorption capacity by the addition of vermicompost from spent grape marc. *The Science of Total Environment*, 378, pp. 95-100.
- Fernández-Bayo, J.D., Nogales, R., Romero, E. 2009. Assessment of three vermicomposts as organic amendments used to enhance diuron sorption in soils with low organic carbon content. *European Journal of Soil Science*, 60, pp. 935-942.
- Fernández-Bayo J.D., Nogales, R., Romero, E. 2015. Winery vermicomposts to control the leaching of diuron, imidacloprid and their metabolites: Role of dissolved organic carbon content. *J. Environ. Sci. Health - Part B*, 50, pp. 190-200.
- Fernández-Gómez, M.J., Romero, Nogales, R. 2010. Feasibility of vermicomposting for vegetable greenhouse waste recycling. *Biores. Technol.*, 101, pp. 9654-9660
- Fernández-Gómez, M.J., Romero, E., Nogales, E. 2011. Impact of imidacloprid residues on the development of *Eisenia fetida* during vermicomposting of greenhouse plant waste. *J. Hazard. Mater.*, 192, pp. 1886-1889.
- Fernández-Gómez, M.J., Diaz-Raviña, M., Romero, E., Nogales, R. 2013. Recycling of environmentally problematic plant wastes generated from greenhouse tomato crops through vermicomposting. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 10, pp. 697-708
- Fernández-Gómez, M.J., Nogales, R., Plante, A., Plaza, C., Fernández, J.M. 2015. Application of a set of complementary techniques to understand how

- varying the proportion of two wastes affects humic acids produced by vermicomposting. *Waste Manag.*, 3, pp. 81-88.
- Fleming, T.P., Richards, K.S. 1982. Localization of adsorbed heavy metals on the earthworm body surface and their retrieval by chelation. *Pedobiol.*, 23, pp. 415-418.
- Garcia-Gomez, R.C., Dendooven, L., Gutierrez-Miceli, F.A. 2008. Vermicomposting leachate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian J. Plant. Sci.* 7, pp. 360–367.
- Garcia-Moreno, J.L., Alvarez, C.J., Paredes, C., Lopez, E., Fernandez, F.J., Bustamante, M.A., Barrena, R., Seoane, S. 2015 *Residuos Agroalimentarios* Ed. Mundi Prensa, Madrid, pp. 344.
- Garg, V.K., Gupta, R., Yadav, A. 2008. Potential of vermicomposting technology in solid waste management. En: Pandey, A., Soccol, C.R., Larroche, C. (Eds.). *Current Developments in Solid-state Fermentation*, Springer, New York, pp. 468-511.
- Gershuny, G. 2011. *Compost, Vermicompost and Compost Tea: Feeding the Soil on the Organic Farm*. Chelsea Green Publishing, EE.UU
- Guerrero, R.D. 1983. The culture and use of *Perionyx excavatus* as a protein resource in the Phillipines. En: Satchell J.E. (Ed.). *Earthworm Ecology*. Chapman & Hall, London, pp. 309–313
- Gutiérrez-Miceli, F.A., Santiago-Borraz, J., Montes Molina, J.A., Nafate, C.C., Bud-Archila, M., Oliva Llaven, M.A., Rincón-Rosales, R., Dendooven, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum* Biores. Technol., 98, pp. 2781-2786.
- Hamilton, D.W., Murie, M.E., Khan, A., Ndegwa, P.M. 2008. Vermicomposting of poultry litter: Process optimization. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2008*, 11, pp. 6672-6679.
- Hussain, N., Abbasi, S. 2018. Efficacy of the Vermicomposts of Different Organic Wastes as Clean Fertilizers: State-of-the-Art. *Sustainability*, 10, p. 63

Gobierno de Aragón, 2017. Instituto Aragonés de Estadística. Disponible en la página web:

www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonesEstadistica

Jin-you, X., Xi-cong, H., Wen-xi, L. 1982. An observation on the results of using earthworms as a supplementary food for suckling pigs. J. Soc. China Normal Coll., 1, pp. 1–8.

Loh, T. C. , Fong L. Y. , Foo, H. L., Than N. T.h, Sheikh-Omar, A. R. 2009. Utilisation of Earthworm Meal in Partial Replacement of Soybean and Fish Meals in Diets of Broilers. J. Appl. Animal Res., pp. 36,29-32

López M.J., Boluda, R. 2008. Residuos agrícolas. En: Moreno Casco, J., Moral Herrero, R. (Eds). Compostaje, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, pp. 498-518

Marsh, L., Subler, S., Mishra, S., Marini, M. 2005. Suitability of aquaculture effluent solids mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting. Biores. Technol. 96, pp. 413-418.

Martinez, F., Calero, B., Nogales, R., Rovesti, L. 2003. Lombricultura. Manual Práctico. Unidad de Producciones Gráficas Minrex, Cuba

Nogales, R., Thompson, R., Calmet, A., Benítez, E., Gómez, M., Elvira. C. 1998. Feasibility of vermicomposting residues from oil production obtained using two stages centrifuge. J. Environ. Sci. Health A33, pp. 1491-1501.

Nogales, R., Elvira, C. Benitez, E., Thompson, R., Gómez, M. 1999a. Feasibility of vermicomposting dairy biosolids using a modified system to avoid earthworm mortality. J. Environ. Sci. Health B34, pp. 151-169.

Nogales, R., Melgar, R., Guerrero, A. Lozada, G., Benítez, E., Thompson, R., Gómez M. 1999b. Growth and reproduction of *Eisenia andrei* in dry olive cake mixed with other organic wastes. Pedobiol. 43, pp. 744-752.

- Nogales, R., Cifuentes, C., Benítez, E., 2005. Vermicomposting of winery wastes: A laboratory study. *Journal of Environment Science and Health Part B*. 40, pp. 659-673.
- Nogales, R., Domínguez, J., Mato, S. 2008. Vermicompostaje, En: Moreno, J., Moral, R. (Eds.), *Compostaje*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, pp. 187-208.
- Nogales R., Romero E., Fernández-Gómez M., 2014. Vermicompostaje: procesos, productos y aplicaciones. Ed. Mundi Prensa, Madrid, pp. 172.
- Pérez-Losada, M., Eiroa, J., Mato, S., Domínguez, J. 2005. Phylogenetic species delimitation of the earthworms *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) and *Eisenia andrei* Bouché, 1972 (Oligochaeta, Lumbricidae) based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. *Pedobiol.* 49, pp. 317—324.
- Riggle, D., Holmes, H., 1994. New horizons for commercial vermiculture. *BioCycle* 35, pp. 58-62.
- Romero, E., Benitez, E., Nogales, R. 2005. Suitability of wastes from olive-oil industry for initial reclamation of a Pb/Zn mine tailing. *Water, Air Soil Pollut.*, 165: pp. 153-165.
- Romero, E., Salido, A., Cifuentes, C., Fernandez, J.D., Nogales, R. 2006. Effect of vermicomposting process on pesticides sorption capability using agroindustrial-wastes. *International Journal Environmental Analytical Chemistry*, 86, pp. 289-297
- Saavedra, M. 2007. Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género *Pleurotus* y anélidos de la especie *Eisenia foetida*. Tesis doctoral de la Universidad de Granada. Nogales, R. y Benitez, E. (Dres)
- Salter, C.E., Edwards, C.A. 2011. The Production of Vermicompost Aqueous Solutions or Teas. En: Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Sherman, R. (Eds.). *Vermiculture Technology*. CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, pp. 153-164
- Scheuerell, S.J., Mahaffee, W.F. 2002. Compost Tea Principals and Prospects for PlantDisease Control. *Compost Sci. Util.* 10, pp. 313-338.

- Scheuerell, S.J., Mahaffee, W.F. 2004. Compost Tea as a Container Medium Drench for Suppressing Seedling Damping-Off Caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathol.*, 94, pp. 1156-1163.
- Sen, B., Chandra, T.S., 2009. Do earthworms affect dynamics of functional response and genetic structure of microbial community in a lab-scale composting system? *Bioresource Technology* 100, pp. 804-811.
- Singh, R., Gupta, R.K., Patil, R.T., Sharma, R.R., Asrey, R., Kumar, A., Jangra, K.K. 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Sci. Hort.*, 124, pp. 34-39
- Suthar, S., Singh, S., 2009. Bioconcentrations of metals (Fe, Cu, Zn, Pb) in earthworms (*Eisenia fetida*), inoculated in municipal sewage sludge: Do earthworms pose a possible risk of terrestrial food chain contamination? *Environ. Toxicol.*, 24, pp. 25-32.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., Hernandez, M.T., Garcia, C. 2008. Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. *Biores. Technol.*, 99, pp. 6228-6232
- Yakimenko, O.S., Terekhova, V.A. 2011. Humic preparations and the assessment of their biological activity for certification purposes. *Eurasian Soil Sci.*, 44, pp. 1222-1230
- Yasmin, S., D'Souza, D., 2010. Effects of pesticides on the growth and reproduction of earthworm: a review. *Applied and Environmental Soil Science* 2010, pp. 1-9.
- Zaller, J.G. 2006. Foliar spraying of vermicompost extracts: effects on fruit quality and indications of late-blight suppression of field-grown tomatoes. *Biol. Agric. Hortic.*, 24, pp. 165–180
- Zaller, J.G., 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Sci. Hort.*, 112, pp.191-199.

Zdruli, P., Jones, R.J.A., Montanarella, L., 2004. Organic matter in the soils of southern Europe, in: European Soil Bureau Research Report, EUR 21083 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 1-17.

