



**Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica**
UNIVERSIDAD DE SEVILLA
GRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

TRABAJO FIN DE GRADO:
VERMICOMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS CON
LOMBRICES DEL GÉNERO *EISENIA*.
CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO.



Juan Manuel Sánchez Bandera
Sevilla. Enero de 2017

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Lombricultura	1
1.2.- Especies de lombrices utilizadas en lombricultura	1
1.3. Condiciones para el desarrollo de las lombrices	2
1.4.- Anatomía y fisiología de las lombrices	3
1.5.- Ciclo de vida	4
1.6.- Vermicompostaje	5
1.6.1- Definición del proceso	5
1.6.2.- Organismos implicados en el vermicompostaje.....	6
1.7.- Reciclaje de residuos orgánicos	6
1.8.- Residuos utilizables en lombricultura y vermicompostaje.....	8
1.8.1.- Estiércoles	8
1.8.2.- Residuos vegetales.	9
1.8.3.- Otros residuos.....	9
1.9.- Sistemas para la producción de vermicompost	10
1.9.1- Vermicompostaje en literas	10
1.9.2.- Vermireactor vertical mecanizado	11
1.9.3.- Vermicompostaje en Contenedores	11
1.9.4.- Vermicompostadores verticales modulares	12
1.10.- Usos del vermicompost	13
1.11.- OBJETIVOS.....	14
2.- MATERIAL Y MÉTODOS	15
2.1.- Emplazamiento.....	15
2.2.- La Lombriz	16
2.3.- Tratamientos	16
2.4.- Condiciones del ensayo.....	18
2.5.- Toma de datos.	19
2.5.1.- Toma de datos con las lombrices.	19
2.5.2.- Toma de datos en los sustratos.....	20
2.7.- Análisis de los datos	21
3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1.- Evolución del número de lombrices y su biomasa	22
3.1.1.- Lombrices adultas	22
3.1.2.- Lombrices jóvenes.....	27
3.1.3.- Lombrices totales.....	30
3.2.- Alimentación.....	32
3.3.- Caracterización química de los vermicomposts obtenidos.....	34
4.- CONCLUSIONES	36
5.- BIBLIOGRAFÍA	37

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Lombrices <i>Eisenia foetida</i> (izquierda) y <i>Eisenia andrei</i> (derecha)	1
Fotografía 2. Distribución de los órganos principales de una lombriz	4
Fotografía 3. Litera para vermicompostaje.....	11
Fotografía 4. Vermireactor de alimentación semicontinua y descarga vertical.....	11
Fotografía 5. Contenedor vermicompostador	12
Fotografía 6. Vermicompostador vertical modular	12
Fotografía 7. Ensayo en micro túnel	15
Fotografía 8. Ensayo en sótano	15
Fotografía 9. Lombrices adultas del género <i>Eisenia spp.</i>	16
Fotografía 10. Disposición de los tratamientos.....	16
Fotografía 11. Ensayo cubierto con malla	18
Fotografía 12. Bandeja con sustrato durante el conteo	20
Fotografía 13. Muestras de vermicomposts para su análisis	21

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales características de las lombrices del género <i>Eisenia spp.</i>	5
Tabla 2. Características que debe cumplir el vermicompost para su uso como enmienda de suelos, según RD 506/2013 y la orden AAA 2564/2015	13
Tabla 3. Características de los tratamientos	17
Tabla 4. Cantidades de alimento (g) aportadas en cada tratamiento durante el ensayo	18
Tabla 5. Análisis de varianza de los valores absolutos e incrementos totales del número de lombrices adultas	24
Tabla 6. Análisis de varianza de los valores absolutos e incrementos de biomasa totales de las lombrices adultas.....	25
Tabla 7. Análisis de varianza de los valores absolutos e incrementos de número de los cuatro sustratos	30
Tabla 8. Análisis de varianza de los valores absolutos e incrementos de biomasa de los cuatro sustratos	31
Tabla 9. Estimación de las cantidades necesarias de dieta por maceta y periodos.	32
Tabla 10. Porcentaje de las dietas aplicadas, en comparación con el suministro óptimo.....	33
Tabla 11. Caracterización química de los vermicomposts obtenidos.....	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del número de lombrices adultas en los cuatro sustratos durante el periodo de realización del ensayo.....	22
Figura 2. Evolución de la biomasa de lombrices adultas en los cuatro sustratos durante el periodo de realización del ensayo.....	24
Figura 3. Biomasa media individual de las lombrices adultas en los cuatro sustratos durante el periodo de ensayo	26
Figura 4. Evolución del número de lombrices jóvenes en los cuatro sustratos durante el periodo de ensayo	28
Figura 5. Evolución de la biomasa de lombrices jóvenes en los cuatro sustratos durante el periodo de ensayo	29

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Lombricultura

La lombricultura se define como la cría de lombrices (DRAE, 2016). Legall (2003) define la lombricultura como las diversas operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices y la transformación de subproductos orgánicos, sobre todo de estiércoles de animales, en material fertilizante. Nogales *et al.* (2014) definen la lombricultura como el cultivo de lombrices con el objetivo de maximizar su número sin tener en cuenta si hay una mejor o peor estabilización del residuo orgánico del cual se alimentan.

El fin de la lombricultura es la producción de lombrices de cara a comercializarlas para diversos ámbitos, como la alimentación de aves, acuicultura, piscicultura, pesca, alimentación animal, y transformación de residuos en material fertilizante y/o sustratos.

Además, la lombricultura se utiliza para la producción de lombrices como animales de laboratorio, en los últimos años, la industria farmacéutica se interesa en ellas con miras a la producción de antibióticos con el objetivo de elaborar compuestos a partir de harinas por su alto contenido en vitaminas, minerales y aminoácidos, para suplementar dietas (Schuldt, 2006).

En el presente ensayo se ha usado para estudiar a las lombrices en la transformación de residuos orgánicos.

1.2.- Especies de lombrices utilizadas en lombricultura.

Las dos especies que más se emplean en lombricultura son las pertenecientes al género *Eisenia spp.*, la *Eisenia foetida* y la *Eisenia andrei*, conocidas como “lombriz roja”. Durante años las dos especies fueron consideradas una sola, ya que son muy parecidas morfológicamente. En la actualidad se ha demostrado que son especies de lombrices diferentes (Domínguez *et al.*, 2003; Domínguez y Pérez, 2010). Ambas especies pueden convivir en poblaciones mixtas en un mismo sustrato. La lombriz *Eisenia andrei*, de tonos rojizos y uniformes es la conocida como lombriz roja californiana, mientras que la *Eisenia foetida*, de colores rojizos y rayas horizontales amarillentas, es conocida como lombriz tigre. En la Fotografía 1 se pueden observar las diferencias de tonificación existentes entre ambas especies de lombriz.



Fotografía 1. Lombrices *Eisenia foetida* (izquierda) y *Eisenia andrei* (derecha)

Estas lombrices se agrupan en la categoría ecológica de epigeas, es decir, se desarrollan en la parte más superficial de suelos y sustratos, no profundizando más de 10-15 cm, y su clasificación taxonómica es la siguiente:

- Reino: *Animalia*.
- Subreino: *Eumetazoa*.
- Filo: *Annelida*.
- Clase: *Oligochaeta*.
- Subclase: *Diploesticulata*.
- Superorden: *Megadrili*.
- Orden: *Haplotaxida*.
- Suborden: *Lumbricina*.
- Superfamilia: *Lumbricoidea*.
- Familia: *Lumbricidae*.

Ambas especies tienen gran capacidad para adaptar su dieta a distintos residuos orgánicos y poseen un amplio rango de tolerancia al pH, temperatura y humedad de los sustratos en los que se desarrollan (Edwards, 1998). Son eficientes reciclando los residuos orgánicos y muy voraces, ya que bajo condiciones óptimas pueden llegar a consumir diariamente una cantidad de residuos equivalente a su peso (Riggle y Holmes, 1994), generando un producto de calidad (Yadav y Garg, 2010). Poseen un admirable mecanismo de autorregulación en su proceso de procreación. Si hay excedentes de comida en su entorno se reproducen y multiplican a gran velocidad, mientras que si hay escasez de comida o condiciones desfavorables (exceso de frío o calor) autorregulan rápidamente su capacidad reproductiva, estabilizándose en mínimos o incluso dejando de reproducirse. Se ha demostrado, tanto en condiciones naturales como en medios de cultivo con abundante alimento, que *Eisenia foetida* actúa con gran voracidad y eso le hace ser una de las especies de lombrices con mayor productividad de vermicompost (Schuldt, 2006; Bueno, 2015). Además, son lombrices con mucha resistencia y de manejo fácil, ya que normalmente, no se fugan de su lecho.

1.3. Condiciones para el desarrollo de las lombrices

Los parámetros que definen el hábitat óptimo de la lombriz roja son los siguientes:

- Estructura del sustrato

Es imprescindible que el sustrato permita el desplazamiento de las lombrices, el drenaje del agua y la circulación del oxígeno.

Es muy importante una buena aireación en el residuo, ya que las lombrices requieren concentraciones de oxígeno comprendidas entre 55% y 65% (Edwards y Bohlen, 1996). En el caso de residuos cuya estructura no permita la difusión pasiva del aire, estos deberían ser acondicionados, realizando mezclas con otro tipo de residuos estructurantes (Garg *et al.*, 2008; Nogales *et al.*, 2014).

- Temperatura

La lombriz roja se desarrolla de forma óptima en un rango de temperaturas entre los 25-28°C, siendo 25°C la temperatura más adecuada. Sobreviven con temperaturas hasta los

32°C, aunque si sufren estas altas temperaturas desde el nacimiento, se inhibiría su crecimiento. En cuanto a temperaturas mínimas, la puesta se detiene entorno a los 10°C, pero son capaces de soportar incluso temperaturas por debajo de cero. (Domínguez y Gómez, 2010).

- Humedad

El contenido de humedad que proporciona el mejor desarrollo de las lombrices es del 80-85%, aunque pueden adaptarse para soportar condiciones de déficit y exceso de humedad (Domínguez y Gómez, 2010).

- pH

Las lombrices presentan un rango de tolerancia a este factor, por fuera del cual no se desarrollan y reproducen con la misma eficiencia. La lombriz roja puede tolerar valores de pH entre 5 y 9, pero el valor óptimo es el cercano a la neutralidad. (Edwards y Bohlen, 1996; Nogales et al., 2014).

- Conductividad Eléctrica (CE)

Las lombrices tienen una baja capacidad de osmorregular las sales que absorben a través de su piel, por lo que una elevada cantidad de sales en el residuo orgánico en el que habitan puede impedir la correcta digestión de los individuos, así que habitan mejor en sustratos con baja CE. Una CE superior a 8 dS m^{-1} podría provocar la muerte de la lombriz roja (Edwards, 1988).

- Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

La relación C/N óptima está entorno a 25. Esto se puede conseguir mezclando proporcionalmente plantas frescas y verdes, materiales y restos orgánicos acuosos, con materias orgánicas leñosas y secas, como paja triturada, restos de poda y hojas secas (Bueno, 2015).

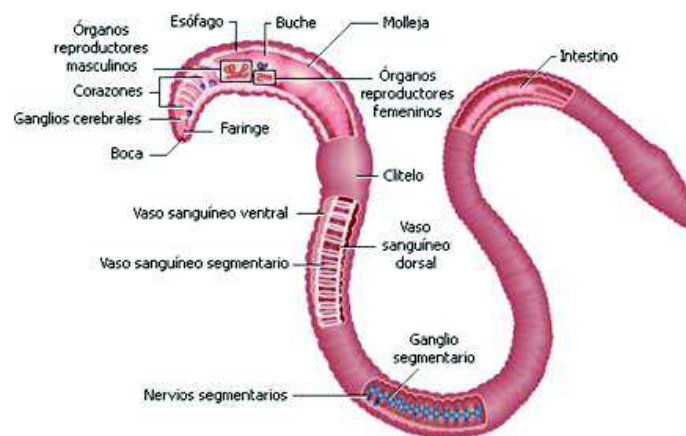
Si la relación C/N es superior a 40 la actividad biológica disminuye, ya que los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono, ralentizándose el proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica (Zhu, 2006).

1.4.- Anatomía y fisiología de las lombrices

La lombriz roja tiene una longitud de 4-8 cm y un diámetro aproximado entre los 3 y 5 mm. Carece de dientes, por lo que se alimenta chupando la comida a través de su boca. El cuerpo de la lombriz está formado por metámeros, anillos que se repiten simétricamente y proporcionan fuerza de adhesión a la hora de desplazarse. La lombriz tiene 5 pares de corazones y un par de riñones, distribuidos por los metámeros. Por ello, si a una lombriz se le parte la cola, puede sobrevivir, debido a que sigue teniendo capacidad cardíaca. Un órgano muy característico de la lombriz es el clitelo, anillo que se sitúa en el primer tercio del cuerpo, cercano a la cabeza. Su función es reproductora, proporcionando la secreción de un líquido cuya función es dar protección a los huevos. La presencia de clitelo permite identificar que la lombriz es adulta y está preparada para llevar a cabo acciones reproductoras. (Ferruzzi, 1986)

Las lombrices son hermafroditas y por tanto poseen dos genitales: uno masculino, con glándulas secretoras de esperma y más cercano a la boca, y otro femenino, que recibe el esperma y se sitúa tras el masculino. Pero son hermafroditas incompletas, es decir, son incapaces de autoreproducirse. Necesitan otra lombriz para realizar la cópula. El apareamiento lo llevan a cabo de forma que coincidan el genital masculino de una con el genital femenino de la otra, por lo que una de ellas se sitúa de forma opuesta. El genital masculino deposita el esperma en el genital femenino, donde se retiene hasta el momento de la fecundación, que se produce a través del clitelo, produciendo una cápsula o cocón, del que emergerán las lombrices. Éstas nacen con un color blanquecino, adquiriendo tonos rosas con el paso de los días, hasta llegar a tener la tonalidad de sus progenitores unos 15 días después del nacimiento (Ferruzi, 1986; Nogales *et al.*, 2014).

En la Fotografía 2 se muestran los principales órganos de una lombriz.



Fotografía 2. Distribución de los órganos principales de una lombriz. Bueno (2015)

Las lombrices respiran a través de la piel. Tienen un sistema circulatorio, nervioso y muscular muy desarrollado, que permite gran versatilidad de movimientos. Para desplazarse, avanza ayudándose de los anillos: fija los anillos anteriores (hacia la boca) se encoje, fija los anillos posteriores y avanza, aprovechando el movimiento para chupar comida.

La lombriz es un ser fotofóbico, con un sistema de sensores a lo largo de su cuerpo para detectar la presencia de luz solar. No se desarrollarán en la superficie del residuo si este se encuentra iluminado (Edwards y Bohlen, 1996). Por lo tanto, el vermicompostaje llevado a cabo bajo condiciones de oscuridad permite mayor eficiencia en el proceso, pudiéndose utilizar cubiertas para favorecer estas condiciones.

1.5.- Ciclo de vida

La máxima esperanza de vida de la lombriz es de 4,5 a 5 años (Nogales *et al.*, 2014). En condiciones óptimas, su ciclo de vida, desde que es depositado el capullo, hasta la puesta de capullos de la siguiente generación, dura entre 45 y 51 días. Las cópulas ocurren cerca de la superficie y la puesta comienza alrededor de 48 h después de la cópula. La viabilidad

de eclosión es del 72–82%, y el tiempo de incubación oscila entre 21 y 30 días. El número de descendientes por capullo varía entre 2,5–3,8. (Domínguez y Gómez, 2010). Schuldt (2006) afirma que las lombrices tienen una prolificidad de 158 individuos por año, suponiendo una puesta por semana. El peso medio de los individuos adultos está entorno a 0.55 g (Domínguez y Gómez, 2010), aunque pueden alcanzar en torno a 1 gramo (Bollo, 1999; Schuldt, 2008). León *et al.* (1992) obtuvo valores de 0,13-0,21 g por individuo. La tabla 1 recoge las principales características de las especies de lombriz roja.

Tabla 1. Principales características de las lombrices del género *Eisenia spp.* Fuente: Domínguez y Gómez (2010)

	<i>Eisenia foetida</i>	<i>Eisenia andrei</i>
Tamaño	4-8 cm	4-8 cm
Peso medio adulto	0,55 g	0,55 g
Tiempo de maduración	28-30 días	21-28 días
Viabilidad de la eclosión	73-80 %	72 %
Descendientes por capullo	2,5-3,8	2,5-3,8
Ciclo de vida óptimo	45-51 días	45-51 días

La Tabla 1 muestra las características similares entre las dos especies de *Eisenia* más empleadas. Generalmente, son dos especies muy parecidas, difiriendo en los parámetros de viabilidad de la eclosión, siendo más viable la lombriz *Eisenia foetida*, y en el tiempo de maduración de los capullos, siendo *Eisenia foetida* la que necesita más tiempo.

1.6.- Vermicompostaje

1.6.1- Definición del proceso

El vermicompostaje es una técnica que consiste en un proceso de estabilización de la materia orgánica, mediado por la acción combinada de lombrices de tierra y microorganismos, del que se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado vermicompost, muy apreciado en el mercado.

Dazel (1991) define el vermicompostaje como una técnica destinada a transformar materiales orgánicos, a través de la digestión a través de lombrices y así obtener vermicompost. El producto obtenido aplicado al suelo mejora sus condiciones en cuanto al drenaje y propiedades físicas y químicas. Esto último es de gran importancia, teniendo en cuenta que las características de este producto permiten evitar la degradación de los suelos, favorecen e incrementan la actividad biótica y su acción, y aumenta la resistencia

de las plantas frente a plagas, enfermedades y organismos patógenos.

Aristóteles definió a las lombrices como “los intestinos de la tierra”. Los primeros estudios profundos del tema fueron dirigidos por Darwin en 1837 publicando en 1881 la obra *La formación del mantillo vegetal por la acción de las lombrices*, con observaciones sobre sus hábitos, lo que marcó el inicio de una serie de investigaciones que hoy han transformado el vermicompostaje en una actividad zootécnica muy importante que permite mejorar la producción agrícola. La primera referencia de los beneficios del vermicompostaje fue aportada en los años 30 por el monje benedictino Augustus Hessing, cuando utilizaba lombrices para eliminar los residuos del monasterio. A mediados de los 40 se comenzó en Estados Unidos la cría intensiva de lombrices con el fin de obtener vermicompost. Sin embargo, el conocimiento científico de los procesos de vermicompostaje se inició en los años 70 en Estados Unidos por los profesores Clive A. Edwards, E. Neuhauser y R. Hartenstein, que sentaron las bases científicas y técnicas de desarrollo de estos sistemas (Nogales *et al.*, 1999).

Mediante el uso del vermicompostaje es posible convertir casi cualquier tipo de desecho orgánico en un producto final que es utilizado en agricultura. (Durán y Enríquez, 2009).

1.6.2.- Organismos implicados en el vermicompostaje

En los procesos de vermicompostaje, junto a la lombriz se encuentran implicados un gran número de microorganismos, fundamentalmente bacterias y hongos, destacando el género *Bacillus*, en cuanto a bacterias (Vaz- Moreira *et al.*, 2008), y el género *Penicillium* y *Aspergillus*, en cuanto a la comunidad fúngica (Anastasi *et al.*, 2005). El desarrollo y actividad de las lombrices y microorganismos se encuentran profundamente ligados, ya que, por una parte, los microorganismos constituyen una parte esencial de la dieta de las lombrices, y por otra, las lombrices modifican la estructura física de los residuos, fragmentando la materia orgánica e incrementando su superficie de contacto, lo cual aumenta la actividad de los microorganismos (Edwards, 1998).

Los microorganismos ingeridos por las lombrices mejoran la degradación de la materia orgánica durante su paso por el intestino, aumentando la capacidad de la lombriz para asimilar los nutrientes. (Nogales *et al.*, 2014). En cualquier sustrato orgánico, gracias a la acción conjunta de lombrices y microorganismos, se consigue una degradación de los productos, hasta mineralizarse parcialmente, humificarse y estabilizarse, ya que estos microorganismos terminan la degradación del residuo recién excretado. Mediante esta interacción se consigue un producto maduro, con características físicas, químicas y bioquímicas diferentes a las del producto inicial.

1.7.- Reciclaje de residuos orgánicos

Según lo establecido en la Ley de Residuos (Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados), un residuo es cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse. Existe un Catálogo Europeo de Residuos (CER), a los que se le aplica esta definición.

Según, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012), en la agricultura y ganadería española, no existe una correcta caracterización y cuantificación de los residuos generados para todo el territorio español, pero hay estimaciones generales y ratios que aportan algunos datos de interés sobre los residuos. Se estima que se generan alrededor de 130 millones de toneladas al año de deyecciones ganaderas, siendo los sectores vacuno y porcino los que más aportan, un 50% y un 40%, respectivamente. En cuanto a restos vegetales de cosecha, existen algunos ratios por hectárea y año de cultivos importantes. En el sector hortícola se generan unas 60 t/ha y año, en el olivar unas 3 t/ha y año, al igual que en la viña, y en el sector cítrico alrededor de 5 t/ha y año. Estos son datos de residuos vegetales generados en campo, a los que habría que añadir los generados en industria (alperujos, restos vegetales, destriós, ...), de los cuales tampoco existen estimaciones totales para todo el territorio español, excepto de algunos residuos, como los alperujos procedentes de la producción de vino y aceite, en los que la producción anual se eleva a los 4 millones de toneladas.

En cuanto a residuos urbanos, denominados residuos domésticos, que son aquellos que se generan en las actividades desarrolladas en los hogares, como consecuencia de las actividades domésticas, en España, según el Instituto Nacional de Estadística, en 2014 se generaron alrededor de 20 millones de toneladas, de los cuales unos 4 millones de toneladas se recogen de forma separada, perteneciendo alrededor de 1 millón de toneladas a residuos animales y vegetales.

El Real Decreto 1481/2001 de 27 de diciembre (BOE no. 25 de 29/1/2002) define el concepto de “residuos biodegradables” como todos los residuos que, en condiciones de vertido, pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia, tales como residuos de alimentos y de jardín, el papel o el cartón. El vermicompostaje es una de las técnicas existentes para transformar residuos orgánicos en productos útiles en agricultura, es una alternativa de valorización de residuos orgánicos generados en la producción vegetal y ganadera. De esta forma se emplean de forma sostenible a la vez que se acelera el proceso de biotransformación de los residuos (Soriano *et al.*, 2012). Cuando se aplican residuos orgánicos sin estabilizar en la agricultura, pueden tener efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas debido al hambre de nitrógeno y a la producción de metabolitos tóxicos (Yadav y Garg, 2012). La gestión del residuo debe realizarse en términos legalmente y ambientalmente favorables, además de ser económicamente asumible por el productor.

En España, en particular, el destino y aprovechamiento de los residuos generados es uno de los problemas ambientales actuales. Por ello es interesante avanzar en el conocimiento y manejo de técnicas que faciliten el reciclaje, y el vermicompostaje es una de ellas. Pero todo proceso biológico, como es éste, está fuertemente condicionado por las condiciones ambientales locales, los parámetros en los que se desarrollen las lombrices determinan notablemente la velocidad del proceso.

Obtener abonos orgánicos mediante el reciclaje de residuos tiene numerosos beneficios. La aplicación de abonos orgánicos mejora tanto las propiedades químicas del suelo, como las propiedades físicas y biológicas, contribuyendo igualmente a la solución del problema de la contaminación del ambiente. Además, estos fertilizantes aumentan la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Dimas *et al.*, 2001).

Junto a los beneficios medioambientales, el vermicompostaje cobra importancia económica, ya que el producto final, el vermicompost, es objeto de comercialización, y

cada vez se está abriendo más hueco en el mercado, con el aumento del uso de abonos orgánicos en la agricultura y el crecimiento de la Agricultura Ecológica.

De forma paralela a la producción de abono, la crianza de lombriz se constituye en una actividad que también puede generar ingresos, ya sea en forma de harina o bien de pie de cría. Por su alto contenido en proteína, la lombriz puede ser utilizada en actividades como la avicultura, piscicultura, pesca y ganadería (Ferruzi, 1986).

1.8.- Residuos utilizables en lombricultura y vermicompostaje.

Existen numerosos residuos utilizables exitosamente en vermicompostaje, generados por diferentes actividades, como la agricultura, la industria y lo urbano. A pesar de la adaptabilidad que presentan las diferentes especies de lombriz, las características del sustrato o material de crecimiento, afectan directamente el estado y multiplicación de este organismo (Ferruzi 1986).

La cantidad de residuo usada en cada tipo del sistema de vermicompostaje debe ser la suficiente para permitir el desarrollo de la población de lombrices durante el proceso. Cuando el residuo se añade periódicamente, la cantidad debe ser adecuada para permitir una óptima tasa de crecimiento y reproducción de las lombrices, sin llegar a producir un exceso de nutrientes en el sustrato donde se desarrollan, ya que se podría producir una intensa actividad microbiana que afectaría de forma negativa a las lombrices (Fernández, 2011).

Hay numerosos residuos que pueden ser útiles en procesos de vermicompostaje. De todos ellos, los más empleados y los usados en este trabajo son: estiércoles, restos hortícolas y otros residuos vegetales (procedentes de jardín, de procesos industriales agroalimentarios, paja de cereales, restos leñosos de poda, ...)

1.8.1.- Estiércoles

Los estiércoles de distinto origen animal han sido usados de forma tradicional para alimentar a las lombrices y llevar a cabo el proceso de vermicompostaje, siendo considerados como un material óptimo para estos fines. Su empleo en instalaciones de vermicompostaje depende de las características de los productos.

Generalmente son residuos bien balanceados y equilibrados nutricionalmente, suelen tener una baja C/N, alrededor de 15, y necesitan un precompostaje previo, por la presencia de semillas de plantas arvenses en su interior y por la posibilidad de que composten con reacciones exotérmicas que podrían perjudicar seriamente el desarrollo de las lombrices (Nogales *et al.*, 2014)

En caso de usar gallinaza, estiércol de conejo, de cabra, o de oveja, es recomendable realizar mezclas con residuos más lignificados y de mayor cuerpo, debido al pequeño tamaño de sus partículas y a su baja relación C/N.

1.8.2.- Residuos vegetales.

Las características y composición de estos residuos varían según el estadio de desarrollo de la especie cultivada, la época de recolección, el órgano o parte vegetal de que se trate y el origen y la naturaleza del residuo, principalmente.

La mayoría de los residuos vegetales requieren un acondicionamiento previo o precompostaje, para el adecuado desarrollo de las lombrices. Se considera suficiente un precompostaje de entre 2 y 4 semanas. Algunos de los residuos existentes en mayores cantidades son:

- Residuos de jardinería: Suelen presentar una alta relación C/N, en caso de tratarse de restos de poda. En el caso del césped, sus características son: alto contenido en N y una relación C/N baja. No es recomendable añadir grandes cantidades de ninguno de ellos a lechos de vermicompostaje.
- Residuos cerealistas: Según Van-Camp *et al.* (2004), la mayor producción de residuos agrícolas corresponde a este sector. Estos residuos poseen baja humedad (10-15%), alto contenido en celulosa (30-50%), alrededor del 10% de lignina y presentan además una relación C/N muy elevada (80-100).
Los restos de cereales son útiles para el cultivo de hongos, como el *Pleurotus ostreatus*, que es un ser saprófito, que extrae carbohidratos, proteínas y minerales de organismos muertos o en descomposición. Durante la formación y constitución del micelio la seta utiliza mucha celulosa y lignina, de ahí el uso de los restos de cereales.
- Residuos hortícolas: Se trata de residuos que se cosechan antes de la senescencia vegetal, presentan alto contenido en humedad y generalmente son fácilmente biodegradables. Presentan una relación C/N baja (alrededor de 15), debido a su alto contenido en nitrógeno. En general, el contenido de celulosa está entre 10 y 40%, siendo el contenido de lignina de estos residuos más bajo que el del resto de los residuos agrícolas (López y Boluda, 2008).

Los residuos vegetales tales como los residuos procedentes de cereales, vegetales de invernadero y jardinería, han sido vermicompostados exitosamente con lombrices del género *Eisenia* (Nogales *et al.*, 2014).

1.8.3.- Otros residuos.

Además de los estiércoles y los residuos vegetales, tradicionalmente usados, también se están utilizando en vermicompostaje otros residuos, procedentes de las zonas urbanas y de la industria.

- Residuos de cocina: Los residuos de cocina son materiales orgánicos que por su naturaleza química (salinidad elevada) y tamaño de partícula presentan dificultad para ser degradados por las lombrices. Aunque pueden permitir el mantenimiento de poblaciones con viabilidad reproductiva (Mamani *et al.*, 2012). En el vermicompostaje a escala doméstica se usan residuos de esta naturaleza, entre otros.

- Residuos de agroindustria. En la industria agrícola se generan muchos materiales orgánicos, entre los que destacan los alperujos, fruto de la elaboración de vino y aceite. También se generan restos vegetales, procedentes del procesado de productos y del destrío de productos no comercializables.
- Lodos de depuradora: procedentes de la depuración de aguas residuales, mediante tratamientos primarios y secundarios. Entre otros destacan los lodos producidos por la depuración de aguas residuales urbanas (lodos urbanos), de aguas residuales de centrales lácteas (lodos lácteos) y de aguas residuales de industrias del papel (lodos de papeleras) (Nogales *et al.*, 2014).

Además, también se han ensayado con otros residuos procedentes de la depuración de las aguas residuales mediante tratamientos primarios y secundarios y residuos de agroindustria de elaboración de aceite y de vino (Nogales *et al.*, 2014).

1.9.- Sistemas para la producción de vermicompost

Los sistemas de vermicompostaje tienen diseños muy diferentes dependiendo de la escala a la que se establezcan. Entre los sistemas de tipo industrial destacan el diseño en literas (ampliamente utilizado) y los vermireactores mecanizados. Entre los sistemas de pequeña escala, útiles a nivel doméstico, destacan los vermicompostadores verticales y los modulares.

1.9.1- Vermicompostaje en literas

Una litera es un espacio rectangular delimitado por maderas, ladrillos, bloques de hormigón o cualquier elemento de contención para el residuo que va a ser vermicompostado y que no permita el escape de las lombrices (Fotografía 3). Las dimensiones de la litera dependen de la escala que se quiera para el proceso, aunque es necesario considerar que gran cantidad de material por descomponer puede desencadenar un proceso exotérmico propio del compostaje aeróbico de materiales orgánicos. Una vez terminado el vermicompostaje, para separar las lombrices del sustrato solo es necesario establecer una cama con residuo nuevo adyacente a la anterior y ellas mismas se desplazan en busca del nuevo alimento, dejando el vermicompost con muy pocas lombrices (Fernández, 2011). La separación final de las últimas lombrices puede ocurrir mediante cribado.



Fotografía 3. Littera para vermicompostaje. Fernández (2011)

1.9.2.- Vermireactor vertical mecanizado

Este sistema está formado por un contenedor donde se encuentran las lombrices y al que se le va añadiendo el residuo a descomponer (Fotografía 4). Tiene un suelo perforado, bajo el cual hay un sistema de criba mecánico que procesa el vermicompost de las capas inferiores, mientras las lombrices van ascendiendo en busca de nuevo alimento (Fernández, 2011)



Fotografía 4. Vermireactor de alimentación semicontinua y descarga vertical. Fernández (2011)

1.9.3.- Vermicompostaje en Contenedores

En estos sistemas el residuo orgánico se encuentra ubicado en el interior de un recipiente, por lo que las lombrices se presentan más protegidas frente a las condiciones ambientales (Fotografía 5). Una vez que el residuo ha sido procesado, el paso de las lombrices hasta un nuevo receptáculo se consigue gracias a que suelen presentar una malla en su parte inferior que permite el paso de las lombrices hacia otro contenedor relleno con residuo nuevo.



Fotografía 5. Contenedor vermicompostador. Fernández (2011)

1.9.4.- Vermicompostadores verticales modulares

Están formados por varios módulos cilíndricos o rectangulares desmontables, cada uno de los cuales presenta un soporte inferior perforado que permite el paso de las lombrices entre ellos. Se ensamblan verticalmente unos sobre otros partiendo de una unidad donde se encuentra la población inicial de lombrices. De este modo, durante el proceso de vermicompostaje, nuevos módulos conteniendo residuo fresco van siendo añadidos periódicamente al sistema conforme las lombrices van agotando el residuo contenido en cada unidad, por lo que hay una continua degradación y desplazamiento de las lombrices (Fotografía 6).



Fotografía 6. Vermicompostador vertical modular. Fernández (2011)

1.10.- Usos del vermicompost

Según el Real Decreto 506/2013 (BOE núm. 164 del 10 de Julio del 2013) de la legislación española sobre productos fertilizantes, el vermicompost es el producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas y deben cumplir una serie de requisitos para ser comercializados para su uso en agricultura. Las características que debe cumplir el vermicompost están recogidas en propio Real Decreto, modificado por la Orden AAA/2564/2015 y se muestran en la Tabla 2.

El uso del vermicompost en Agricultura es el principal aprovechamiento de este producto, el cual puede aplicarse como enmienda orgánica, abono orgánico, o sustrato para el cultivo y la producción de especies vegetales en invernadero (Nogales *et al.*, 2014).

Tabla 2. Características que debe cumplir el vermicompost para su uso como enmienda de suelos, según el RD 506/2013 y Orden AAA/2564/2015.

Materia orgánica total	$\geq 30\%$
Humedad	$\leq 40\%$
Relación C/N	< 20
Granulometría	$< 25\text{mm}$

Además de los datos que se muestran en la tabla, se debe realizar una declaración del Nitrógeno total, el Óxido de Fósforo y el Óxido de Potasio, en caso de que superen el 1%.

El vermicompost, también se puede usar como sustrato para cultivos sin suelo, en este caso está regulado por el Real Decreto 865/2010 (BOE núm. 170, de 14 de julio de 2010).

Gracias al vermicompostaje se lleva a cabo la lombricultura, produciéndose lombrices para alimentación animal, que, debido a su alto contenido proteico, son un producto esencial para fomentar el crecimiento de los individuos. La harina de lombriz, se utiliza en el ámbito industrial en la elaboración de piensos equilibrados para la ganadería y aves, se ha comprobado que la utilización de esta harina en la elaboración de piensos reporta tasas de conversión superiores a los equilibrados con otras proteínas (Edwards y Bohlen, 1996).

En los últimos tiempos se ha generado un gran interés por el uso de vermicomposts para otros fines: supresión de hongos fitopatógenos, modificación de la asimilación de metales pesados y regeneración de suelos degradados, entre otros (Nogales *et al.*, 2014).

Con la producción de vermicompost también se recogen lixiviados, producto del riego periódico que reciben los sistemas de vermicompostaje, que se utilizan como fertilizante líquido en la agricultura. Los tés de vermicompost, aplicados por vía foliar o al suelo, mejoran el desarrollo y rendimiento de las cosechas, dependiendo de sus características. La aplicación de té de vermicompost al suelo aumenta su actividad microbiana y de la rizosfera. También existen estudios que demuestran que la aplicación de tés de

vermicompost vía foliar presenta potencial para reducir o prevenir enfermedades fúngicas, por su eficacia supresora (Edwards et al., 2006)

1.11.- OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es conocer el comportamiento de la lombriz del género *Eisenia* en cuatro sustratos orgánicos: estiércol de caballo, restos de poda, residuo verde y paja proveniente del cultivo de *Pleurotus ostreatus*.

Para ello, se definen como objetivos específicos:

- Evaluar los parámetros que definen el desarrollo de las lombrices en los distintos sustratos orgánicos durante los 180 días de duración del ensayo. Los parámetros son: número, biomasa y biomasa media, tanto de lombrices adultas como de lombrices jóvenes.
- Caracterizar químicamente el vermicompost obtenido en cada sustrato.

2.- MATERIAL Y MÉTODOS

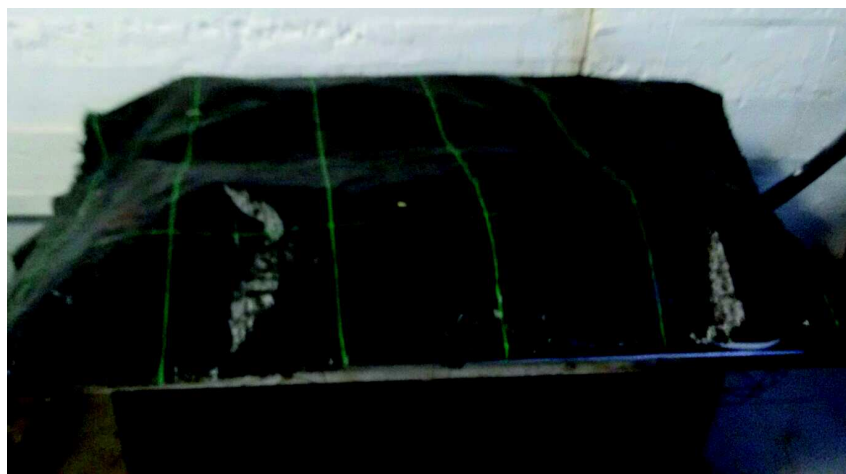
2.1.- Emplazamiento

El ensayo se llevó a cabo en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Sevilla, desde diciembre de 2015 hasta junio de 2016. Comenzó en diciembre de 2015 finalizó en junio de 2016, 180 días después.



Fotografía 7. Ensayo en micro túnel.

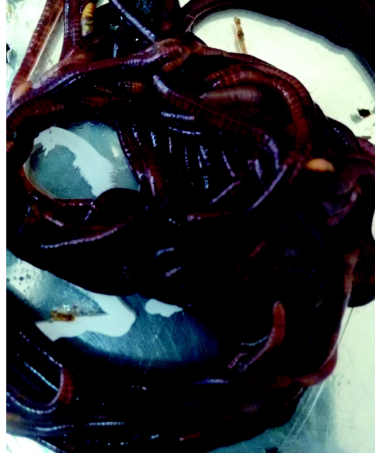
Desde diciembre a mediados de marzo el ensayo estuvo en un micro túnel (Fotografía 7), después se ubicó en un invernadero contiguo al micro túnel durante un mes aproximadamente y en la primera semana de abril se trasladó al sótano del centro hasta finalizar la experiencia (Fotografía 8). Los distintos emplazamientos fueron elegidos con el fin de acercarse a unas condiciones de temperatura adecuadas para el buen desarrollo del proceso de vermicompostaje. Los tratamientos se dispusieron en macetas de 3 l. de capacidad, siendo cada maceta una unidad de toma de datos (repetición).



Fotografía 8. Ensayo en sótano.

2.2.- La Lombriz

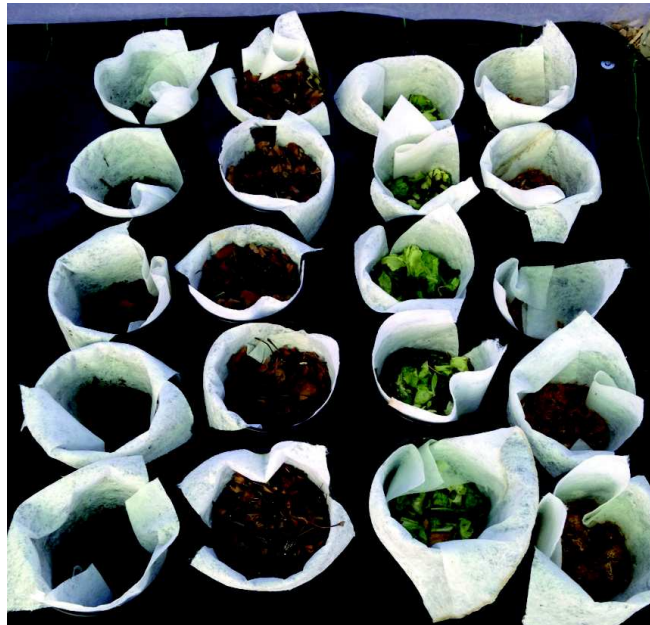
Se utilizaron lombrices del género *Eisenia*, en concreto *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*, procedentes de la empresa Lombricultivos, dedicada a la lombricultura y el vermicompostaje. En cada repetición (maceta) se introdujo una biomasa conocida correspondiente a 30 lombrices adultas. En total se usó una cantidad de 600 lombrices adultas. Se han considerado lombrices adultas aquellas que son cliteladas (Fotografía 9).



Fotografía 9. Lombrices adultas del género *Eisenia* spp.

2.3.- Tratamientos

El ensayo tuvo un diseño en bloques al azar con 4 tratamientos (sustratos orgánicos) y 5 repeticiones (macetas) (Fotografía 10)



Fotografía 10. Disposición de los tratamientos

Los sustratos orgánicos empleados en el ensayo fueron:

- Restos de poda: provenientes de los residuos generados en la escuela en la poda de la parcela de cultivos leñosos. Incluyen una pequeña proporción de hojarasca.
- Residuo verde: lechugas, crucíferas, hojas de tomate y crisantemo, provenientes del campo de prácticas de la escuela; leguminosas (restos de haba), de cultivo ecológico, provenientes de una huerta externa a la escuela. Existe variabilidad porque se han usado según necesidad y disponibilidad.
- Paja proveniente del cultivo de *Pleurotus ostreatus*: procede de la empresa Huertos de Hytasal (Sevilla), donde se lleva a cabo el cultivo del *Pleurotus ostreatus* y generan este residuo después de obtener la producción comercial de setas.
- Estiércol de caballo: proveniente de la empresa Lombricultivos, suministradora de las lombrices, dedicada a la lombricultura y vermicompostaje. También se ha utilizado un estiércol existente en la zona de compostaje de la escuela. Este sustrato se ha utilizado como testigo, debido a sus buenas características para el vermicompostaje y comportamiento conocido.

En la Tabla 3 se pueden observar las características iniciales de los sustratos utilizados como tratamientos.

Tabla 3. Características iniciales de los tratamientos.

Tratamiento	pH	CE (ms/cm)	Humedad (%)
Estiércol escuela	8,68	4,36	12,9
Estiércol Lombricultivos	8,29	2,31	12,35
Poda	6,94	0,93	5,78
Paja de <i>Pleurotus ostreatus</i>	6,46	3,29	9,82
Residuo verde	6,60	2,71	18,54

Los sustratos fueron colocados en macetas de plástico de 3 l. de capacidad, con 20 cm de diámetro y 15 cm de altura, ordenadas por tratamientos e identificadas con un número. Las macetas contenían en su interior un geotextil, para evitar pérdidas de sustrato y escape de lombrices por los agujeros de drenaje y se colocaron sobre un plato de plástico. No se permitió que hubiera alguna cantidad de agua en los platos para evitar fermentaciones y malos olores.

Se añadieron 300 gramos de sustrato (dieta) a cada maceta. Los materiales de dieta fueron previamente compostados durante 2-3 semanas, para facilitar su consumo por las lombrices, siguiendo las recomendaciones de Yadav y Garg (2012). Las macetas se cubrieron con una malla negra antihierba con el objetivo de impedir el paso de la luz (Fotografía 11)



Fotografía 11. Ensayo cubierto con malla.

2.4.- Condiciones del ensayo.

El ensayo ha estado controlado de forma periódica para establecer las necesidades de dieta y riego.

El criterio de reposición ha sido en base a ver si existía residuo disponible o estaba transformado. En la Tabla 4 se presenta la distribución en el tiempo de las reposiciones de alimento y sus cantidades.

Tabla 4. Cantidades de alimento (g) aportadas en cada tratamiento durante el ensayo.

DÍAS DE ENSAYO	ESTIÉRCOL*	PODA*	RESIDUO VERDE*	PAJA CHAMPIÑÓN*
INICIO	300	300	300	300
70	100		100	
90	100		100	100
100			100	
120	200		200	150
140			100	
160			100	
175			200	
TOTAL*	700	300	1200	450

*todas las cantidades están expresadas en gramos

El tratamiento de residuo verde ha sido el que mayor cantidad de dieta ha demandado, debido al aumento de la población de lombrices.

En los tratamientos de estiércol y paja de *Pleurotus ostreatus* se han llevado a cabo reposiciones con menor frecuencia, realizándose las últimas a los 120 días de ensayo, y no siendo necesaria a simple vista nuevas reposiciones, debido a la presencia de una cantidad de sustrato considerable.

El tratamiento de restos de poda no ha tenido reposiciones, ya que siempre se observaba presencia de materia orgánica por degradar.

En cuanto al agua añadida a las macetas de los tratamientos, se comenzó el ensayo con una cantidad de 300 cc para favorecer una buena humectación de los sustratos. A partir de ahí se controló la humedad de forma visual y manual, semanalmente, con aportes de agua de 100 cc. por maceta y semana, aumentando esta cantidad en caso de que el sustrato estuviera seco, o hubiera una cantidad considerable de sustrato, lo que ocurre tras las reposiciones de alimento.

2.5.- Toma de datos.

2.5.1.- Toma de datos con las lombrices.

Los datos que se tomaron a las lombrices fueron los correspondientes al número de ejemplares y biomasa, divididos en dos bloques: jóvenes (sin clitelo diferenciado) y adultas (con clitelo diferenciado). Únicamente se contabilizaron los ejemplares con longitud superior a 2 cm aproximadamente.

No se consideró contar el número de cocones porque puede ser una variable sometida a un gran error, ya que los cocones no son fácilmente visibles en todos los sustratos estudiados por el mimetismo que presentan.

La primera toma de datos se realizó a los 3 meses desde el inicio del ensayo y a partir de entonces se tomaron datos mensuales durante la primera semana de cada mes.

Para el conteo de las lombrices, se vaciaba el contenido de las macetas en una bandeja metálica para trabajar de forma manual (Fotografía 12). Durante la operación se procuraba mantener separadas la parte superior (con más material sin descomponer) de la inferior (con mayor concentración de humus de lombriz) con el fin de volver a depositar el sustrato en la maceta de forma similar a la que estaba.



Fotografía 12. Bandeja con sustrato durante el conteo.

Durante el conteo se separaban manualmente lombrices jóvenes y adultas. Cada grupo se colocaba en un colador parcialmente sumergido en una bandeja metálica con agua, para facilitar la limpieza de las lombrices y evitar que se escaparan.

Con todas las lombrices de cada maceta separadas en individuos jóvenes y adultos se procedía al peso de su biomasa, con un ligero secado en papel de filtro, siguiendo las recomendaciones de Mamani *et al.*, (2012).

Tras el conteo, las lombrices se colocaban en la parte superior del sustrato de su maceta y rápidamente descendían en profundidad.

El procedimiento resulta laborioso debido a la mimetización que presentaban las lombrices con el sustrato y a su movilidad. Además, dependiendo del sustrato, el vermicompost es viscoso y difícil de manejar, por lo que algunos materiales requerían mayor trabajo que otros. El residuo verde fue el más laborioso en la toma de datos por su viscosidad y el notable desarrollo del número de lombrices. El residuo en el que había mayor mimetismo fue el de poda.

Cuando se terminaba la toma de datos sobre un tratamiento, se devolvía a la zona de ensayo tras el aporte del riego y/o reposición de dieta, en caso de ser necesarios.

2.5.2.- Toma de datos en los sustratos

Al terminar la experiencia se analizaron los vermicomposts obtenidos (Fotografía 13). Su caracterización química se ha llevado a cabo en el Servicio de Investigación Agraria de la Universidad de Sevilla. Analizándose los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica (C.E), materia orgánica, macronutrientes (nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, potasio y sodio) y micronutrientes (hierro, manganeso, cinc y cobre).

En los análisis se siguieron las normas oficiales de aplicación para mejoradores del suelo y sustratos de cultivo, que brevemente se indican a continuación.

- pH: Agua 1:5 (v/v) (UNE-EN 13037)
- C.E: Agua 1:5 (v/v) (UNE-EN 13038)

- Materia Orgánica: Calcinación (UNE-EN 13039)
- Carbono orgánico: RD 506/2013 y Orden AAA/2564/2015
- Nitrógeno total: Método Dumas
- Fósforo total: Calcinación y método de Murphy y Riley
- Fósforo soluble: Agua 1:5 (v/v) y método de Murphy y Riley (UNE-EN 16352)
- Potasio, calcio, magnesio y sodio solubles: Acetato amónico a pH: 4,65 1:5 (v/v) (Australia Standard)
- Hierro, manganeso, zinc y cobre: Cloruro cálcico y ácido dietilendiaminopentaacético a pH: 2,65 (UNE-EN 13651)



Fotografía 13. Muestras de vermicomposts para su análisis.

2.7.- Análisis de los datos

Los datos de número, biomasa y biomasa media de individuos se han analizado tanto para adultos como para jóvenes, así como el número y biomasa total. Se ha utilizado el programa de asistencia estadística Assistat, para los análisis de varianza (ANOVA de una vía) realizados y posterior separación de medias a través del test de Tukey ($p < 0,05$). Los análisis se han hecho tanto para números absolutos como para incrementos. Los datos analizados son las medias correspondientes a las 5 repeticiones de cada tratamiento.

En el análisis de los incrementos, debido a que existían valores negativos, se han realizado modificaciones en los datos usando principalmente la función “C+X” y en algunos casos puntuales, en lombrices jóvenes, $\log(x)$ y $\text{raíz}(x)$.

En cuanto a la caracterización de los vermicomposts obtenidos, se ha analizado de forma individual cada sustrato, comprobando la legalidad de su uso en agricultura atendiendo a las normas existentes.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan organizados en los tres parámetros que han focalizado el trabajo: las lombrices, la prolificidad de sus cocones y la caracterización del vermicompost final obtenido.

3.1.- Evolución del número de lombrices y su biomasa

Las lombrices con las que se inició el experimento fueron adultas, es decir, cliteladas. Por tanto, todas las lombrices jóvenes que se han contabilizado, han nacido desde el inicio de la experiencia. Se considera necesario separar la presentación y discusión de los datos en lombrices adultas y jóvenes. Se han comparado también los parámetros relativos al total de lombrices.

3.1.1.- Lombrices adultas

El 2 de diciembre de 2015 se inició el trabajo con 30 lombrices adultas en cada maceta. La evolución de su número en los seis meses de la experiencia se muestra en la Figura 1.

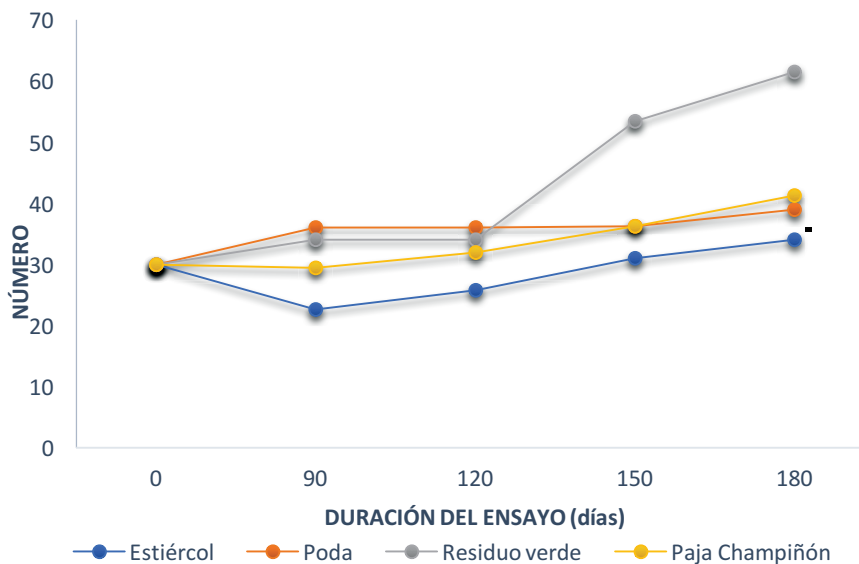


Figura 1. Evolución del número de lombrices adultas en los cuatro sustratos durante el periodo de realización del ensayo.

El comportamiento de todos los tratamientos fue de un aumento del número de lombrices adultas por comparación del número inicial y el contabilizado a los 180 días. El incremento ha sido gradual en todas las dietas estudiadas, salvo en el caso del estiércol durante los primeros 90 días.

La dieta basada en estiércol (testigo) presentó un crecimiento total del número de lombrices del 13,3%. En los primeros 90 días se observó una disminución en el número de lombrices adultas (Figura 1). Probablemente este descenso se deba a que, en la primera reposición de alimento, a los 70 días de ensayo se aplicó un estiércol excesivamente mineralizado que causó problemas en la población de lombrices, impidiendo su correcta

alimentación y pudiendo provocar mortalidad. La conductividad eléctrica de esa partida de estiércol fue elevada (Tabla 3), aproximadamente el doble que el estiércol usado en el montaje de la experiencia. Sabiendo que como máximo soportan una CE de 8 ms/cm, y que viven en condiciones óptimas en sustratos con baja CE, han podido no estar en condiciones óptimas cuando se hizo la reposición con estiércol mineralizado. Todas las reposiciones posteriores se hicieron con un estiércol más fresco, lo que provocó un aumento del número de lombrices a partir de los 90 días desde el inicio del ensayo.

Con la dieta basada en los restos de poda aumentaron las lombrices adultas un 30% con el transcurso de la experiencia. A pesar de la dificultad para las lombrices de alimentarse por ser la poda un sustrato muy lignificado y difícil de degradar, es muy posible que hayan basado su nutrición en la hojarasca también presente en los restos de poda usados, debido a su más fácil descomposición.

El residuo verde es el tratamiento que mejor ha respondido, con un incremento del 105%, aumentando el número de lombrices de forma notable sobre el resto de tratamientos, sobre todo en la segunda mitad del ensayo.

La paja de *Pleurotus ostreatus* ha tenido un incremento del 37,5%, por lo que ha sido el segundo sustrato que ha presentado mayor número final de adultas, aunque muy lejos del residuo verde. Al igual que la poda, es un sustrato lignificado, difícil de degradar, pero en esta ocasión está mezclado con los residuos generados por el *Pleurotus ostreatus*, que sirve de alimento para las lombrices.

Se observa que, en todos los tratamientos, en los 80 primeros días de ensayo el aumento en el número de lombrices adultas ha sido muy bajo. Esto se debe a que la mayoría de las lombrices nacidas en ese periodo no han llegado a madurar lo suficiente como para ser consideradas adultas. A partir de ese momento se observa que hay aumentos más notables, debido a que comienzan su etapa adulta las lombrices que han nacido durante el ensayo (Figura 1).

Pasados los 120 días todos los tratamientos presentaron incrementos. Este cambio de tendencia coincidió con el traslado de la experiencia al sótano de la Escuela, donde las temperaturas se situaron alrededor de los 25°C, temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo de las lombrices (Edwards, 1998; Domínguez y Gómez, 2010). Además, las variaciones de temperatura no son tan acusadas en el sótano como en los invernaderos entre el día y la noche, por lo que se ve menos afectado el ciclo normal de las lombrices.

Los datos medios del número de lombrices adultas de cada tratamiento se sometieron a un análisis de varianza ANOVA y posterior separación de medias por el test de Tukey en todas las fechas de muestreo. La Tabla 5 muestra los resultados en valores absolutos y los incrementos de los datos correspondientes al último conteo durante el mes de junio de 2015.

Tabla 5. Análisis de varianza de los valores absolutos e incrementos totales del número de lombrices adultas. Separación de medias por Tukey ($p < 0,05$)

	Valores absolutos(número)	Incremento(%)
Estiércol de caballo	34 b	13,33 b
Restos de poda	39 b	30 b
Residuo verde	61,5 a	105 a
Paja de Pleorotus ostreatus	41,25 b	37,5 b

Para cada parámetro, los tratamientos seguidos con la misma letra no difieren significativamente según el test de Tuckey con $p < 0,05$

La Tabla 5 muestra las diferencias existentes en cuanto al número de lombrices adultas de los cuatro tratamientos en el conteo final y el incremento que han tenido desde el inicio al final del ensayo. El tratamiento basado en la dieta de residuos verdes fue el que mostró un mayor número de lombrices adultas, con diferencias significativas respecto al resto, pasando de una media de 30 lombrices adultas a 61,5 lombrices adultas, frente al resto de tratamientos, que tienen valores estadísticamente iguales.

Para valorar el comportamiento de las dietas, es necesario evaluar también la evolución de la biomasa de las lombrices. Los resultados de la biomasa total de las lombrices adultas a lo largo de los 180 días de duración de la experiencia se presentan en la Figura 2.

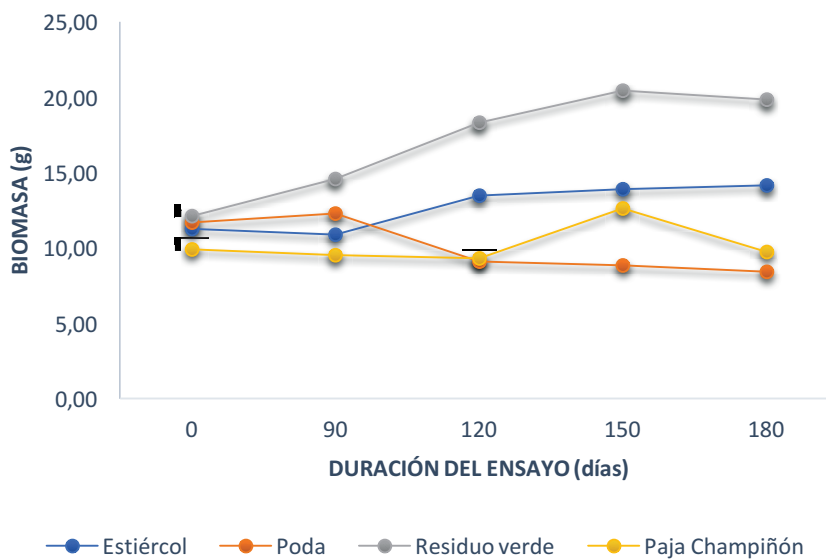


Figura 2. Evolución de la biomasa de lombrices adultas en los cuatro sustratos durante el periodo de realización del ensayo.

El tratamiento de estiércol tuvo un ligero descenso en la biomasa total en los primeros 90 días, acorde con lo mostrado respecto al número de lombrices. A partir de los 90 días el incremento es acusado hasta los 120 días y menos pronunciado desde los 120 días hasta el final de la experiencia.

La dieta basada en residuos verdes fue la que mejor se comportó en todos los conteos realizados. La biomasa de lombrices adultas aumentó desde el principio hasta casi los 160 días de ensayo, donde sufre una ligera disminución que probablemente se deba a un estrés por falta de alimento.

La biomasa de las lombrices en el tratamiento poda presenta un ligero ascenso hasta los 90 días, a partir de los cuales sufre una disminución constante hasta el final del ensayo, debido al aumento del número de lombrices, que hace que haya menos alimento disponible para cada individuo.

En cuanto al tratamiento de paja de *Pleurotus ostreatus*, hubo un descenso en la biomasa total en los dos primeros conteos para recuperarse en el periodo de 120 a 150 días y volver a caer después. En cualquier caso, ha sido un tratamiento que ha tenido uno de los peores comportamientos en lo que a la biomasa total se refiere. Posiblemente se deba a la desequilibrada composición del material orgánico de su dieta.

Los datos medios de biomasa de lombrices adultas se han sometido a un análisis de varianza ANOVA y una separación de medias por el test de Tukey, en la Tabla 6 se representan estos datos, correspondientes al último conteo realizado.

Tabla 6. Análisis de varianza de los valores absolutos e incrementos de biomasa totales de las lombrices adultas. Separación de medias por Tukey ($p < 0,05$)

	Valores absolutos (g)	Incremento (%)
Estiércol de caballo	14,17 b	32,8 ab
Restos de poda	8,43 c	-27,16 c
Residuo verde	19,84 a	65,55 a
Paja de <i>Pleurotus ostreatus</i>	9,73 c	2,74 bc

Para cada parámetro, los tratamientos seguidos con la misma letra no difieren significativamente según el test de Tukey con $p < 0,05$

Existen diferencias significativas entre el residuo verde y el resto de tratamientos, siendo éste el que presenta valores más altos de biomasa de lombrices adultas. Este comportamiento posiblemente se deba a la fácil descomposición del residuo verde, su buena composición nutricional, humedad y aireación existente en el medio en el que se han desarrollado las lombrices.

El estiércol es el segundo sustrato con mayor biomasa de adultas, aunque presentando un incremento de la mitad del residuo verde. Teniendo en cuenta los problemas que han existido con el estiércol mineralizado, se puede concluir que éste puede provocar problemas en la prolificidad y/o desarrollo de nuevas lombrices, no influyendo de forma tan negativa en su alimentación.

La paja de *Pleurotus ostreatus* presentó un incremento de biomasa muy bajo, y los restos de poda incrementos negativos. En ambos tratamientos ha aumentado el número de forma similar, por lo que, hablando de biomasa, los restos de poda son peor sustrato para nutrir a las lombrices, por la complicada descomposición del material. Posiblemente las lombrices se han alimentado de la hojarasca existente, aunque limitada, llegando a ser adultas con muy poco peso. La paja de *Pleurotus ostreatus* presentó los mismos problemas, pero en este caso ha habido unos muy ligeros incrementos. Aun así, ninguno de los dos es un buen sustrato para multiplicar las lombrices en número y biomasa.

Para poder concluir sobre la influencia de las dietas estudiadas en las lombrices adultas es útil analizar los resultados de la biomasa media de las lombrices adultas, calculada a partir de los totales de la biomasa de las adultas y el número de lombrices adultas. Los datos se presentan en la Figura 3.

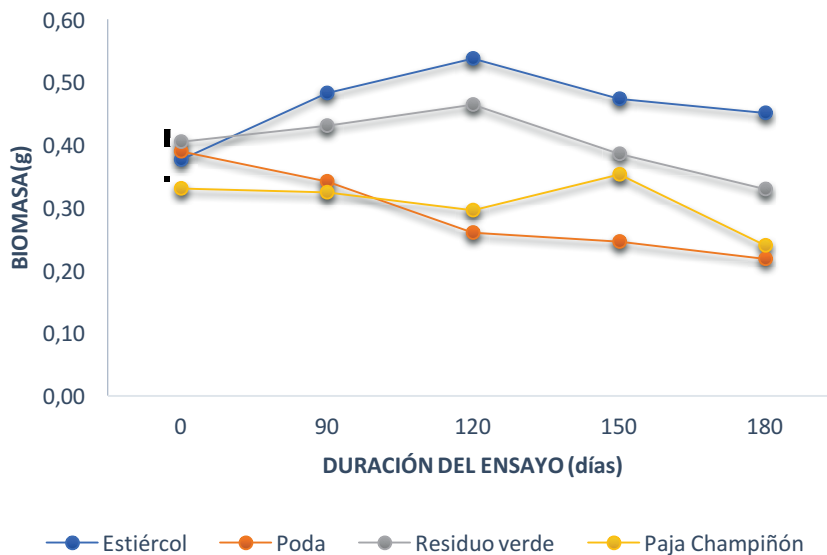


Figura 3. Biomasa media individual de las lombrices adultas en los cuatro sustratos durante el período de ensayo.

La tendencia general de las dietas estudiadas es que provoquen un aumento de la biomasa media de la lombriz hasta llegar a un máximo y después descienda. León *et al.* (1992) y Domínguez *et al.* (1997), lo relacionan directamente con una disminución en el alimento disponible, hecho que puede conllevar hasta la muerte de los individuos (Aquino *et al.* 1994). Aira *et al.* (2007) señalan que el proceso de reproducción consume grandes cantidades de energía y nutrientes, lo que lo que puede justificar la evolución de la biomasa en nuestro ensayo y apunta nuevamente hacia un suministro deficiente de alimentos.

En términos generales, el valor máximo de peso promedio por individuo que se ha encontrado es de 0.54 g, y el valor mínimo 0,22 g, datos que contrastan con lo descrito por otros autores, como Schuldt (2008), que reporta valores de peso medio de entre 0,3 y 1,4 g por individuo, o la idea generalizada de 1 g por individuo, que describen Bollo (1999) y Ferruzi (1986).

La biomasa media de la lombriz adulta en el tratamiento de estiércol aumentó durante los primeros 120 días de ensayo, para descender a continuación hasta el final del ensayo. Durante los primeros 90 días el número de lombrices había disminuido (Figura 1), por lo que este aumento en la biomasa media podría deberse a mayor disponibilidad de alimento para los individuos existentes.

En el tratamiento de residuo verde, la biomasa media de lombrices adultas aumenta hasta los 120 días, cuando comienza a descender, coincidiendo con el aumento en número de lombrices adultas. En estas circunstancias puede ser que el alimento disponible este limitado para tal población.

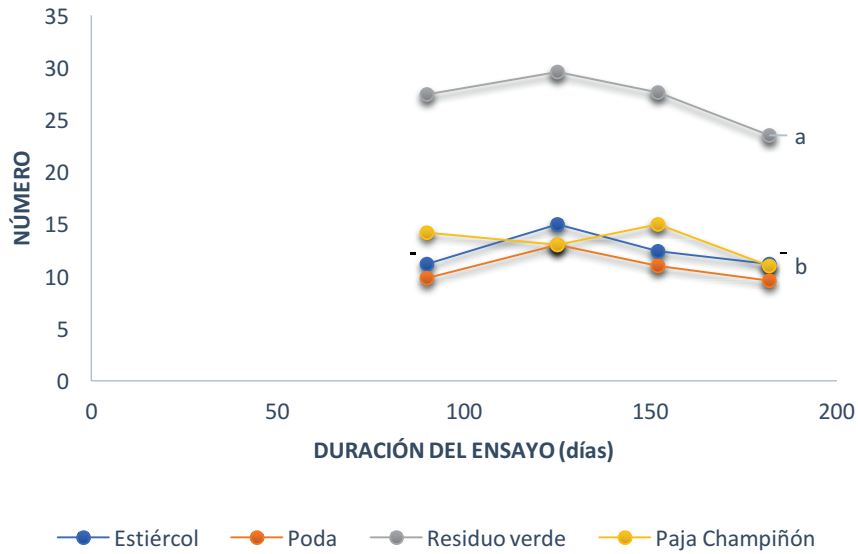
El único tratamiento en el que existe un aumento del peso medio entre los 120 y 160 días es el de paja de *Pleurotus ostreatus*, y probablemente se debe a la reposición de dieta que se ha hecho al comienzo de este periodo (tabla 3), donde se proporcionaron 150 gramos de alimento y pudieron suponer la adición de nutrientes fácilmente disponibles frente al residuo en descomposición.

El tratamiento de restos de poda presenta un descenso constante de biomasa media de adultas desde el inicio hasta el final del ensayo, demostrando de nuevo la ineficacia de este sustrato para una buena nutrición de las lombrices.

Al aumento de número existente a partir de los 120 días (figura 1), se suma el descenso en el peso medio por individuo, lo que podría estar mostrando nuevamente una cierta limitación en el suministro de alimento proporcionado..

3.1.2.- Lombrices jóvenes

En el ensayo también se ha analizado el comportamiento de las lombrices jóvenes. Aunque lo que sucede en las adultas es el espejo de lo que sucede en el ensayo, ya que es la población final y útil para que avance el proceso de vermicompostaje, las lombrices jóvenes aportan datos sobre la reproducción de la lombriz en cada tratamiento y su desarrollo. Los resultados sobre la evolución del número de lombrices sin clitelo y mayores de 2 cm. se presentan en la Figura 4.



Para cada parámetro, los tratamientos seguidos con la misma letra no difieren significativamente según el test de Tukey con $p < 0,05$

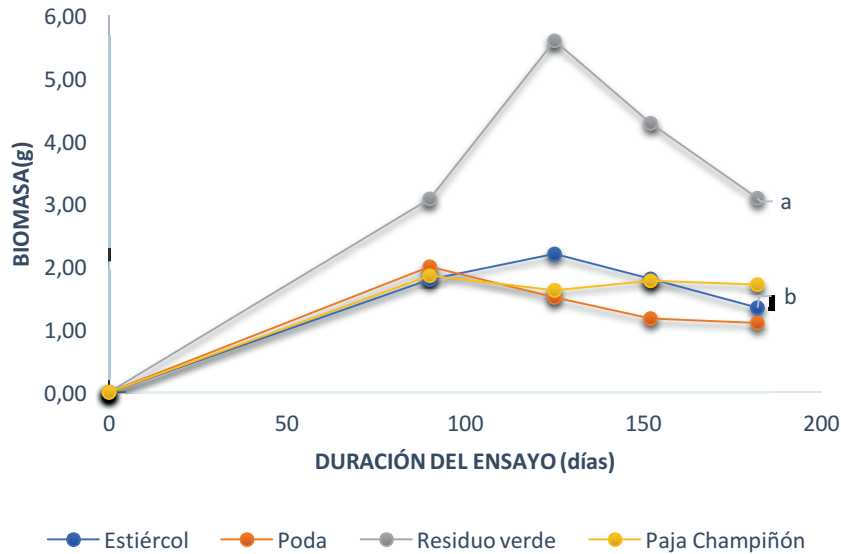
Figura 4. Evolución del número de lombrices jóvenes en los cuatro sustratos durante el periodo de ensayo.

Las lombrices jóvenes aparecieron en el primer conteo (90 días), ya que el ensayo se inició solamente con lombrices adultas. Se puede afirmar que todas las lombrices jóvenes que se han contado han nacido durante el desarrollo de la experiencia.

Desde el primer momento, la dieta basada en el residuo verde ha mostrado un número de lombrices jóvenes muy superior al del resto de los tratamientos estudiados, que tuvieron un comportamiento muy similar durante los 180 días de duración del ensayo. Se presenta la separación de medias correspondiente al último conteo, aunque las comprobaciones hechas permiten afirmar que durante todos los conteos el comportamiento estadístico de los tratamientos estudiados fue el mismo que el que se muestra para el conteo del mes de junio.

La tendencia y evolución del número de lombrices jóvenes no deben analizarse de forma independiente a lo que ocurre con el número de lombrices adultas, puesto que la disminución en el número de jóvenes no implica menor tasa de reproducción, sino que puede estar relacionado con su evolución hacia el estado adulto, como se observa en el residuo verde desde los 120 días en adelante.

La biomasa total de lombrices jóvenes se presenta en la Figura 5. Se observa como el tratamiento basado en los residuos verdes tiene mayor biomasa, acorde con los resultados observados en el número de lombrices.



Para cada parámetro, los tratamientos seguidos con la misma letra no difieren significativamente según el test de Tukey con $p < 0,05$

Figura 5. Evolución de la biomasa de lombrices jóvenes en los cuatro sustratos durante el periodo de ensayo

En biomasa de jóvenes existen diferencias significativas entre el residuo verde y el resto de tratamientos, como es de esperar teniendo en cuenta su superioridad en número y lo sucedido durante el transcurso del ensayo.

La biomasa media individual de lombrices jóvenes es de 0,17 g para el tratamiento de estiércol, 0,13 g para el de restos de poda, 0,15 g para el residuo verde y 0,13 g para la paja. Se observa que ha oscilado entre los mismos valores para todos los tratamientos. Sólo se puede destacar un peso medio de lombriz joven de 0,26 gramos que ocurrió en el tratamiento de estiércol a los 150 días de ensayo, coincidiendo este ciclo con la existencia de un estiércol de calidad, observándose de nuevo la alta biomasa que otorga este residuo a la lombriz.

Los tratamientos de restos de poda, paja de *Pleurotus ostreatus* y estiércol, presentan valores similares de número de lombrices jóvenes, ocurriendo lo mismo en el número de lombrices adultas. Distinto es lo que ocurre con la biomasa, la biomasa de jóvenes en estos tres tratamientos es similar, pero cuando se habla de biomasa de adultas, se observan diferencias significativas del tratamiento de estiércol, frente al de poda y al de paja. Por lo que se deduce que, teniendo el un número de lombrices similar, el estiércol permite un mayor aumento de la biomasa, indicando así, que es un alimento que aplicado de forma correcta, aporta una buena nutrición a las lombrices.

3.1.3.- Lombrices totales

Sumando el número de lombrices adultas y jóvenes se ha obtenido la variable “número total de lombrices”, que aporta algunas informaciones adicionales a las ya presentadas. Los resultados en números absolutos y en incremento desde el inicio de la experiencia hasta el final se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Análisis de varianza de los valores absolutos e incrementos de número de los cuatro sustratos. Separación de medias por Tukey ($p < 0,05$)

	Valores absolutos (número)	Incremento
Estiércol de caballo	45,2 b	50,67 b
Restos de poda	48,6 b	62 b
Residuo verde	85 a	183,33 a
Paja de <i>Pleurotus ostreatus</i>	52,25 b	74,17 b

Para cada parámetro, los tratamientos seguidos con la misma letra no difieren significativamente según el test de Tukey con $p < 0,05$

Se observa que, hablando en términos de población total, solo hay diferencias significativas en el tratamiento de residuo verde, frente a la igualdad existente en el resto de tratamientos. Al comparar los resultados mostrados en las Tablas 4 y la Tabla 6, se observa que en la población de lombrices adultas ocurre lo mismo que en la población total, por lo que el desarrollo de las lombrices adultas describe lo que está ocurriendo en el ensayo a largo plazo, las diferencias significativas existentes entre el residuo verde y el resto de tratamientos.

Al comienzo del trabajo, se pensó en el estiércol como un tratamiento de referencia, debido a su uso tradicional como alimento de lombrices y a la idea de que es un material óptimo para el proceso (Nogales *et al.*, 2014) y a los buenos resultados en otros ensayos, como el de Durán y Henríquez (2009), en el que el tratamiento de estiércol presenta una variación de 2296 % en el número de individuos, en 90 días de ensayo, dato que ayuda a confirmar la mala calidad del estiércol que se introdujo al comienzo de este ensayo, y una escasa reposición en cuanto a cantidades de dieta.

Se demuestra el mejor desarrollo de la lombriz en el residuo verde, con un incremento del 183,33%, confirmando que este tratamiento es el que permite el mayor desarrollo en número de la lombriz, como se ha observado en el comportamiento de adultas y jóvenes, con grandes diferencias significativas frente a los demás tratamientos.

Y de nuevo, el estiércol es el que ha sufrido menores incrementos de número, aunque no existen diferencias estadísticas con los restos de poda y la paja de *Pleurotus ostreatus*, por lo que se deduce que el tratamiento estiércol ha ido superando los problemas ocurridos cuando se aplicó estiércol mineralizado.

Sumando la biomasa de lombrices adultas y jóvenes en cada tratamiento, se ha obtenido la variable “biomasa de lombrices totales”, que aporta información sobre el comportamiento general de la biomasa. Los datos se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de varianza de los valores absolutos e incrementos de biomasa de los cuatro sustratos. Separación de medias por Tukey ($p < 0,05$)

	Valores absolutos (g)	Incremento (%)
Estiércol de caballo	15,52 b	46,58 ab
Restos de poda	9,53 c	-17,56 b
Residuo verde	22,93 a	91,97 a
Paja de <i>Pleurotus ostreatus</i>	11,44 c	19,91 b

Para cada parámetro, los tratamientos seguidos con la misma letra no difieren significativamente según el test de Tukey con $p < 0,05$

La tabla 8, ofrece de nuevo lo que ya se ha observado en los análisis de la biomasa de la población adulta, la buena capacidad del residuo verde para aumentar la biomasa de las lombrices, existiendo diferencias significativas sobre el resto de tratamientos.

El tratamiento de estiércol ofrece una biomasa que presenta diferencias significativas frente a los tratamientos de poda y paja, teniendo en cuenta que el estiércol es el tratamiento que ha tenido un menor incremento en el número de lombrices, que ha sido de un 50,67%, lo que confirma de nuevo, que es un sustrato que proporciona a las lombrices una nutrición adecuada, y que, de haberlo aplicado en buen estado, podría haberse acercado a los valores que presenta el residuo verde.

El tratamiento de poda es el que ha presentado menores valores de biomasa, existiendo un incremento de biomasa negativo, lo que refuerza la idea de que no es un buen sustrato para proporcionar a las lombrices una alimentación adecuada.

En cuanto a la paja de *Pleurotus ostreatus*, presenta un incremento de aproximadamente el 20%, diferenciándose del estiércol y del residuo verde, lo que también hace pensar, que no es el sustrato adecuado para llevar a cabo el proceso de vermicompostaje de forma eficiente.

3.2.- Alimentación

Algunas de las variables estudiadas en este ensayo han mostrado unos resultados que apuntan a que hubo carencias en el suministro de dietas a las lombrices. Por ello se ha realizado un estudio general sobre la adecuación de la cantidad de dieta a la biomasa de lombrices existentes.

Como no se sabe cuánto come al día la lombriz en las condiciones concretas del presente ensayo, para alimentar a las lombrices de forma correcta habría que seguir un criterio de suficiencia, que es aportar tanta dieta como fuera necesario teniendo en cuenta que la lombriz consume al día su propio peso. Partiendo de los datos de biomasa total y considerando la duración del ensayo, se han calculado las necesidades de alimentación. Los resultados se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Estimación de las cantidades necesarias de dieta, por maceta y periodo.

Días	ESTIÉRCOL*	PODA*	RESIDUO VERDE*	PAJA <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i> *
0-90	1077,3	1169,1	1341	958,5
90-120	425	388,8	623,7	335,1
120-150	471	309,9	729,9	379,8
150-180	468,6	293,4	715,2	387,3
TOTAL	2441,9	2161,2	3409,8	2060,7

*Todas las cifras en gramos

Los cálculos se han realizado utilizando la biomasa media de lombrices por periodo, que ha sido calculada utilizando datos de biomasa media por maceta. Multiplicando esta cifra de biomasa media por la duración en días del periodo, se obtiene el dato de la cantidad necesaria de alimentación, siguiendo el criterio de suficiencia.

La estimación presentada en la Tabla 9 muestra la necesidad de abastecer de una cantidad muy superior de alimentación a las lombrices del tratamiento de residuo verde, frente a los 2-2.4 kg que necesitan el resto de tratamientos. Al comparar estos datos con los presentados anteriormente en la Tabla 1, se comprueba que el suministro de alimento en este ensayo ha quedado por debajo de las necesidades de las lombrices. El grado de cobertura de las necesidades comparado con el estimado como óptimo se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Porcentaje de dietas aplicados, en comparación con el suministro óptimo.

	ESTIÉRCOL*	PODA*	RESIDUO VERDE*	PAJA <i>PLEUROTUS OSTREATUS</i> *
0-90	37,13	25,66	29,83	31,30
90-120	23,53	0,00	32,07	29,84
120-150	42,46	0,00	41,10	39,49
150-180	0,00	0,00	41,95	0,00
TOTAL	28,67	13,88	35,19	26,69

*Todas las cifras en %

Los datos de la Tabla 10 confirman la tendencia que habían apuntado el comportamiento de algunas variables relativas al número y biomasa de lombrices: el suministro de alimento ha estado por debajo de las necesidades de las lombrices.

Las reposiciones realizadas, se han hecho a simple vista, observando las macetas y llegando a descender el sustrato hasta niveles muy bajos, por lo que no corresponden con la idea general de que la lombriz come al día su propio peso (Ferruzi, 1986; Bollo, 1999), ya que, de ser así, en el presente ensayo se hubiera repuesto con mucha más frecuencia. De haber repuesto con más frecuencia, se hubieran aportado las cantidades existentes en la Tabla 9. Sin embargo en ninguno de los casos, se ha llegado a aportar ni si quiera un 50% de lo que estima la Tabla 9.

El sustrato que ha tenido una menor reposición ha sido la poda, debido a la presencia de materia orgánica durante todo el ensayo, esto se debe a que las lombrices no podían degradarla con facilidad, y como el criterio seguido no fue de suficiencia, no se realizó reposición alguna. El aporte inicial representa un 13,88% de la necesidad durante los 180 días, un valor muy bajo.

Le sigue la paja de *Pleurotus ostreatus*, donde ha existido un mayor déficit entre los 90 y 120 días de ensayo.

Lo mismo ocurre con el estiércol, que ha tenido un mayor déficit en el mismo tramo que la paja, presentando una variación porcentual final similar.

El residuo verde es el sustrato al que más dieta se le ha aplicado, aunque es un 35,19% de lo que se debería haber utilizado para que no hubiera limitaciones. El periodo de mayor déficit coincide con el resto de tratamientos.

El periodo de mayor déficit ha sido un periodo de reproducción y formación de lombrices jóvenes, por lo que esta carencia de alimento ha podido influir de forma negativa en las poblaciones de lombrices de todos los tratamientos.

No obstante, de forma general se observa que han existido carencias de dieta durante todo el ensayo. Aunque también hay que tener en cuenta que la lombriz se alimenta de una forma u otra en base a lo apetecible que sea la dieta, de ahí que las presentes en el tratamiento de residuo verde y de estiércol, necesiten más alimento, y dichos tratamientos presentan carencias de reposición, siendo los más relevantes para afirmar que no se ha hecho la reposición adecuada.

En vista a los datos obtenidos, se considera necesario seguir avanzando en el conocimiento sobre el comportamiento de las lombrices respecto a las diferentes dietas. Es evidente que hubiera sido necesario alimentar con más cantidad el ensayo, pero no se considera real tratar todas las dietas con patrones idénticos, y los porcentajes de suministro presentados en la Tabla 10 responden a ese tratamiento igualitario hacia todas las dietas.

El hecho de ser pioneros en el planteamiento de este trabajo en la ETSIA tiene como principal inconveniente la falta de conocimientos previos en nuestras condiciones. Y las condiciones locales son determinantes en el comportamiento de las lombrices, tanto a nivel de alimentación como de parámetros reproductivos. Para futuros trabajos se recomienda profundizar en estos aspectos de manejo.

3.3.- Caracterización química de los vermicomposts obtenidos

Se ha realizado un análisis de la composición de los vermicomposts obtenidos y las características de cada uno se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11 Caracterización química de los vermicomposts obtenidos.

Parámetro	Vermicompost Poda	Vermicompost Estiércol	Vermicompost R. Verde	Vermicompost Paja
pH	7,69	8,82	9,56	7,44
C.E. (mS/cm)	1,515	4,63	6,11	5,03
M.O. (%)	77,552	46,135	49,558	52,196
N Total (%)	2,192	1,845	2,098	1,546
C/N	20,522	14,504	13,702	19,583
P Total (%)	0,26	0,447	0,575	0,14
P (%)	0,089	0,018	0,023	0,004
K (%)	1,997	2,111	2,72	1,352
Ca (%)	1,333	3,359	2,574	4,332
Mg (%)	0,237	0,348	0,432	0,302
Na (%)	0,098	0,283	0,492	0,155
Fe (mg/Kg)	11,684	19,225	33,172	12,043
Mn (mg/Kg)	34,196	21,607	32,211	28,483
Zn (mg/Kg)	31,017	19,474	29,373	11,119
Cu (mg/Kg)	5,423	3,332	4,262	1,782

Como se observa en la Tabla 11, respecto al pH, los cuatro productos analizados son heterogéneos. El vermicompost de paja está próximo a la neutralidad (< 7,5) y el de poda es ligeramente básico (7,69), ambos están dentro de los límites recomendados para composts. Sin embargo, el vermicompost de estiércol es muy básico y el de residuo verde es extremadamente alcalino. Este último presenta problemas de fitotoxicidad e inhibición de la actividad biológica. Durán y Henríquez (2007), observa un valor de pH similar al del residuo verde, en restos de producción bananera.

En cuanto a la salinidad, los valores (medidos en dilución 1:5) de la conductividad eléctrica (CE) son muy altos para la mayoría de los productos, a excepción del vermicompost de poda. Cabe destacar, el valor obtenido en el vermicompost de residuos verdes por ser el más alto y superar el valor de 5 mS/cm.

En cuanto a la materia orgánica total, los cuatro productos están próximos al 50% (sobre muestra seca). Respecto a este parámetro el vermicompost obtenido a partir de restos de poda ha sido el que presenta mayor porcentaje, debido a que es el que menor descomposición ha sufrido, por lo que en el cribado ha entrado la hojarasca que había en el sustrato.

Los resultados analíticos de nitrógeno (%N total), son similares en las cuatro muestras, Los cuatro productos superan ampliamente el límite mínimo establecido por la legislación para tener que declararlo (1%). Estos valores son similares a los obtenidos por Durán y

Henríquez (2007), en cinco sustratos orgánicos de naturaleza distinta, incluidos estiércol y restos verdes.

El porcentaje de fósforo (%P total) es más elevado en los tratamientos de estiércol y residuo verde que en los tratamientos más lignificados, como lo son los restos de poda y la paja.

Respecto a los nutrientes solubles, se comprueba que el fósforo (%P) presenta valores bajos, siendo similares en los cuatro vermicomposts. El producto obtenido a partir de restos de poda es el que tiene el valor más alto de este nutriente.

Respecto al potasio soluble (% K), el mayor valor se encuentra, de nuevo, en el residuo verde, y el menor en el sustrato de paja.

En cuanto al resto de los nutrientes solubles (macros y micros), se comprueba que el producto obtenido a partir de paja tiene el valor más alto de calcio seguido, que se puede deber a una adición de Carbonato Cálcico a la hora de inocular la paja para producir *Pleurotus ostreatus*, con valores cercanos, por los productos elaborados con estiércol y residuo verde. Los contenidos en magnesio son similares en las cuatro muestras, siendo el más alto el de residuo verde y el menor el de poda.

En definitiva, el residuo verde presenta los valores más altos en potasio, sodio y magnesio, lo cual se correlaciona bien con los elevados valores de pH y CE, especialmente el contenido en sodio. Como se comentó, puede resultar fitotóxico.

En cuanto a los micronutrientes, cabe destacar que, en general, los valores más bajos de hierro, cobre y cinc se han obtenido en el vermicompost de paja. Mientras que el producto elaborado con restos de poda presenta valores altos en la mayoría de micronutrientes (Mn, Zn y Cu), posiblemente, debido a la riqueza en estos de los restos de hojarasca.

4.- CONCLUSIONES

El análisis de los datos del presente ensayo permite llegar a las siguientes conclusiones:

1. El crecimiento y reproducción de la lombriz del género *Eisenia* está directamente relacionado con el sustrato en el que habita, presentando variaciones en número y biomasa en sustratos de distintas características.
2. El tipo de sustrato en el que habitan las lombrices influye en la reproducción. Puede existir una relación inversa entre el peso y las tasas de reproducción, con lombrices de mayor peso con una tasa de reproducción menor a otras de menor peso.
3. El estiércol es un sustrato donde las lombrices aumentan considerablemente su biomasa. Para vermicompostar estiércol hay que asegurarse de que no esté mineralizado en exceso. De lo contrario las lombrices no desarrollarán de forma correcta, frenando el aumento en número de la población.
4. Los sustratos lignificados como la paja de *Pleurotus ostreatus* o la poda, no son los más adecuados para la cría de lombriz, porque provocan un crecimiento en el número de lombrices total del 74,17% y 62%, respectivamente. chocando con unos incrementos de biomasa del 19,91% y del -17,56%, respectivamente.
5. No se recomienda usar únicamente restos de poda para lombricultura o vermicompostaje, debido a que el desarrollo de la lombriz presenta incrementos negativos de biomasa. Se recomienda usar mezclado con materiales con menor relación C/N.
6. El residuo verde es el tratamiento que mejor se ha comportado tanto en número como en biomasa de lombrices, presentando diferencias significativas en ambas variables con respecto al resto de tratamientos, por lo que se puede decir que es un sustrato muy interesante para llevar a cabo procesos de vermicompostaje y lombricultura.
7. Para ensayos posteriores se recomienda hacer reposiciones siguiendo un criterio de suficiencia, para que las lombrices nunca sufran estrés o desnutrición por falta de alimento.
8. Para ensayos posteriores, se recomienda hacer mezclas con los sustratos utilizados en el presente trabajo, debido a que puede ser interesante el uso del sustrato lignificado como sustrato aireante en sustratos más compactos como lo son la paja o el residuo verde una vez descompuesto. Esto ayudaría a no alcanzar valores excesivos de salinidad y pH en los vermicomposts, como en el caso del residuo verde.

5.- BIBLIOGRAFÍA

AENOR. (2001). Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de la conductividad eléctrica. UNE-EN 13038. AENOR, Madrid.

AENOR. (2001). Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación del contenido en materia orgánica y las cenizas. UNE-EN 13039. AENOR, Madrid.

AENOR. (2001). Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de pH. UNE-EN 13037. AENOR, Madrid.

AENOR. (2002). Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación del Nitrógeno. Parte 2: Método Dumas. UNE-EN 13654-2. AENOR, Madrid.

AENOR. (2002). Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Extracción de nutrientes solubles en Cloruro Cálcico/DTPA (CAT). UNE-EN 13651. AENOR, Madrid.

AENOR. (2002). Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Extracción de nutrientes y elementos solubles en agua. UNE-EN 16352. AENOR, Madrid.

Aira, M., Domínguez, J., Monroy, F. y Velando, A. (2007). Stress promotes changes in resource allocation to growth and reproduction in a simultaneous hermaphrodite with indeterminate growth. *Biological Journal of the Linnean Society* (91), 593-600.

Anastasi, A., Varese, G.C. y Filipello, V. (2005). Isolation and identification of fungal communities in compost and vermicompost. *Pedobiología*, 47, 736-740. Australian Standard. (1993). Potting mixes. Standard Association of Australia. AS3743.

Aquino, A.M., Almeida L.D., Freire, R.L. y De Poli, H. (1994). Reprodução de ninhocas (oligochaeta) em esterco bovino e bagaço de cana-de-açúcar. *Agropecuária Brasileira*, 29(2),161-168.

Bollo, E. (1999). Lombricultura: Una alternativa de reciclaje. Quito: Soboc grafic.

Bueno, M. (2015). *Elabora tu propio lombricompost. El mejor humus para tu huerta, macetas y jardín.* Navarra: La Fertilidad de la Tierra.

Dalzel, H.W. (1991). Manejo del suelo, producción y uso del vermicompostaje en ambientes tropicales y subtropicales. Roma: Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación.

Dimas J., Díaz A., Martínez E., Valdez, R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra*, 19(4), 293-299. Recuperado de <https://chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art293-299.pdf>

Domínguez, J., Edwards, E. Y Subler, S. (1997). A comparison of vermicomposting and composting. *Biocycle*, 38(4), 57-59.

- Domínguez, J., Velando, A., Aira M. Y Monroy F., (2003).** *Uniparental reproduction of Eisenia fetida and Eisenia Andrei (Oligochaeta: Lumbricidae): evidence of self-insemination.* En The 7th international symposium on earthworm ecology. *Pedobiología* 47. (pp: 530-534). Cardiff: Editorial Urban & Fischer Verlag. Recuperado de <http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2011/10/Uniparental-reproduction-of-Eisenia-fetida-and-E.-andrei.pdf>.
- Domínguez, J., Pérez-Losada M. (2010).** Eisenia fetida (Savigny, 1826) y Eisenia andrei Bouché, 1972 son dos especies diferentes de lombrices de tierra. *Acta zoológica mexicana.* 26(2), 321-331. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S006517372010000500024&lng=es&tlng=es.
- Domínguez, J., Gómez- Brandón, M. (2010).** Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana*, Número especial 2: 309-320.
- Durán, L., y Henríquez, C. (2007).** Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de 5 sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense.* 31(1), 41-51.
- Durán, L. y Henríquez, C. (2009).** Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (Eisenia foetida) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275-281.
- Edwards, C.A., Bohlen, P.J. (1996).** Biology and ecology of earthworms. London: Chapman & Hall.
- Edwards, C.A. (1998).** Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. En Edwards, C.A., Neuhauser, E.F. (Eds), *Earthworms in waste and environmental management.* (pp. 21-31). The Hague: SPB Academic Publishing BV.
- Edwards, C.A. (1998).** Earthworm Ecology. Boca Ratón. Editorial CRC Press.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q. y Greytak, S. (2006).** Effects of vermicompost teas on plant growth and disease. *Biocycle*, 47, 28-31.
- Fernández, J. (2011).** Aplicación de la tecnología del vermicompostaje para la valorización agronómica de residuos y desechos de cultivos de invernadero. (Tesis doctoral). Recuperado de <http://hera.ugr.es/tesisugr/20373934.pdf>
- Ferruzzi, C. (1986).** *Manual de Lombricultura.* Madrid: Editorial Mundi-Prensa.
- 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.* (pp. 468-511). New York: Springer.
- Legall, J., Dicovski, L., Valenzuela, Z. (2002).** *Manual básico de lombricultura para condiciones tropicales.* Recuperado de <http://myslide.es/documents/manual-basico-de-lombricultura.html>

- León, S., Villalobos, G., Fraile, J. y González, N. (1992).** Cultivos de lombrices (*Eisenia foetida*) utilizando compost y excretas animales. *Agronomía Costarricense*, 16(1), 23-28.
- López, M.J. y Boluda, R. (2008).** Residuos Agrícolas En: Moreno, J. y Moral, R. (Eds.). *Compostaje*. (pp. 489-518). Madrid: Mundi-Prensa.
- Mamani, G., Mamani, F., Sainz, H., Villca, R. (2012).** Red worm behavior (*Eisenia spp.*) in vermicomposting systems of organic residues.
- Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). (2012).** Producción y consumo sostenibles: Residuos agrarios. Madrid. Centro de publicaciones del MAGRAMA.
- Nogales, R., Elvira, C., Benítez, E., Thompson, R., Gómez, M. (1999).** Feasibility of vermicomposting dairy biosolids using a modified system to avoid earthworm mortality. *Journal of Environmental Science and Health- Part B- Pesticides, Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 34, 151-169. Recuperado de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03601239909373189>
- Nogales, R., Romero, E., Fernández, M.J. (2014).** *Vermicompostaje: Procesos, productos y aplicaciones*. Madrid: Mundi- Prensa.
- Real Academia Española (2016).** Diccionario de la Lengua Española (23ª ed.). Recuperado de <http://dle.rae.es/?w=diccionario>.
- Riggle, D., Holmes, H. (1994).** New horizons for commercial vermiculture. *Biocycle*, 35(10), 58-62.
- Schuldt, M. (2006).** *Lombricultura. Teoría y práctica*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Soriano, M.D., Molina, M.J., Llinares, J., Pons, V. e Ingelmo, F. (2008).** Estabilización de residuos de vinazas y lodos de depuradora tras un proceso de vermicompostaje con estiércol de conejo en condiciones de laboratorio. En Gallardo, A., et al. (eds.) *Primer simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Castellón: REDISA.
- Van-Camp. L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C. y Selvaradjou, S-K. (2004).** Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Luxembourg: Official Publications of the European Communities.
- Vaz- Moreira, I., Silva, M.E., Manaia, C.M., Nunes, O.C. (2008).** Diversity of bacterial isolates from comercial and homemade composts. *Microbial Ecology*, 55, 714-722. Recuperado de http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/diversity-of-bacterial-isolates-from-commercial-and-homemade-composts/id/69040237.html

Yadav, A., Garg, V.K. (2010). Recycling organic wastes by employing *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology*, 102, 2874- 2880.

Zhu, N. (2006). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot scale aerated static bin system. *Bioresource Technology*, 97, 1870-1875.