



Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

TRABAJO FIN DE GRADO:

VERMICOMPOSTAJE DE PAJA Y PAJA PELETIZADA

CON CASCARILLA DE ARROZ:

PROCESO Y CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTOS



Adrián Aragón Cuacos
Sevilla, 18 de Enero de 2017



**Escuela Técnica Superior
de Ingeniería Agronómica
UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

TRABAJO FIN DE GRADO:

**VERMICOMPOSTAJE DE PAJA Y PAJA PELETIZADA
CON CASCARILLA DE ARROZ:
PROCESO Y CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTOS**

Tutores:

Alumno:

Itziar Aguirre Jiménez

Juan Alves Dionisio

Adrián Aragón Cuacos

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Lombricultura: definición y origen.....	1
1.2. La lombriz.....	1
1.3. Las lombrices usadas en lombricultura.....	4
1.3.1. <i>Eisenia foetida</i> : características y hábitat de la especie.....	4
1.3.2. Condiciones óptimas para desarrollo de <i>Eisenia foetida</i>	5
1.3.3. Ciclo de vida de <i>Eisenia foetida</i>	6
1.4. La importancia del reciclaje de residuos orgánicos con el vermicompostaje....	7
1.5. Alimentación de las lombrices.....	7
1.5.1. Estiércol.....	8
1.5.2. Otros residuos orgánicos	8
1.5.3. Paja procedente de la producción de setas	9
1.5.4. Cascarilla de arroz.....	10
1.6. Vermicompost.....	11
1.6.1. Características y composición.....	11
1.6.2. Legislación en España sobre vermicompost	12
1.7. Objetivos.....	13
2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	14
2.1. Emplazamiento	14
2.2. Descripción de materiales	14
2.2.1. Lombrices.....	14
2.2.2. Residuos	14
2.2.3. Material complementario	15
2.3. Dietas. Tratamientos aplicados	15
2.4. Descripción del ensayo	16
2.4.1. Procedimiento. Montaje y puesta en marcha	16
2.4.2. Condiciones del ensayo	17
2.5. Toma de datos	18
2.5.1. Determinaciones físico-químicas en los materiales de partida	18
2.5.2. Crecimiento y desarrollo de lombrices.....	19
2.6. Caracterización físico-química de los vermicomposts obtenidos.....	20

2.7. Análisis de datos	21
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
3.1. Comportamiento de los tratamientos a base de paja inalterada	22
3.1.1. Evolución del número de lombrices en paja inalterada.....	22
3.1.2. Evolución de la biomasa de lombrices en paja inalterada.....	26
3.2. Estudio del número de lombrices y biomasa en paja peletizada.....	29
3.2.1. Evolución del número de lombrices en paja peletizada	29
3.2.2. Estudio de la biomasa de lombrices en paja peletizada	32
3.3. Producción de cocones.....	35
3.3.1. Estudio de la producción de cocones en paja inalterada	35
3.3.2. Estudio de la producción de cocones en paja peletizada.....	36
3.4. Características físico-químicas de los vermicomposts obtenidos.....	37
4. CONCLUSIONES	40
5. BIBLIOGRAFÍA.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Residuos domésticos y propiedades para el vermicompostaje.....	9
Tabla 2. Mínimos requisitos a cumplir por un producto que se comercialice como vermicompost según la legislación española.....	13
Tabla 3. Fecha y cantidad de dieta suministrada a las lombrices	18
Tabla 4. Porcentaje de humedad de los diferentes tratamientos en el montaje del ensayo	18
Tabla 5. pH y conductividad eléctrica de los tratamientos estudiados en el montaje de la experiencia	19
Tabla 6. Número de lombrices total e incremento desde el inicio del número de <i>Eisenia foetida</i> en los distintos tratamientos	25
Tabla 7. Biomasa media de lombrices adultas en tratamientos de paja inalterada.....	27
Tabla 8. Variaciones de la biomasa total en valores absolutos y relativos desde el inicio al final del ensayo.....	28
Tabla 9. Número total y porcentaje de crecimiento en las mezclas de tratamientos de peletizada.....	31
Tabla 10. Biomasa media jóvenes y adultas en tratamientos de paja peletizada al final del ensayo	33
Tabla 11. Biomasa final e inicial en valores absolutos y relativos, referidos al valor inicial en los tratamientos de paja peletizada	34
Tabla 12. Número de lombrices/cocón en tratamientos de paja inalterada	36
Tabla 13. Número de lombrices/cocón en los tratamientos de paja peletizada	37
Tabla 14. Características químicas del vermicompost 100Pa del tratamiento de paja inalterada	37
Tabla 15. Características químicas de los vermicomposts 100Pe, 80Pe20C y 60Pe40C de paja peletizada.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de anatomía de la lombriz	3
Figura 2. Ciclo de vida de <i>Eisenia foetida</i>	6
Figura 3. Evolución del número de lombrices adultas en los 5 meses de duración de la experiencia para los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz	22
Figura 4. Número de lombrices jóvenes en tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.....	23
Figura 5. Número total de lombrices en los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.....	24
Figura 6. Porcentaje de crecimiento del número total de lombrices en tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz	25
Figura 7. Evolución de la biomasa de adultas a lo largo del ensayo en los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz	26
Figura 8. Biomasa total de lombrices en los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.....	27
Figura 9. Porcentaje de crecimiento de la biomasa total de lombrices en mezclas de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz	28
Figura 10. Número de lombrices adultas en los conteos de cada tratamiento de peletizada en los 150 días de duración del ensayo. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz	29
Figura 11. Número de lombrices jóvenes en los conteos en tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz	30
Figura 12. Número total de lombrices a lo largo del ensayo en tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.....	30
Figura 13. Biomasa de lombrices adultas en los tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz	32
Figura 14. Biomasa total de lombrices en tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz	33
Figura 15. Porcentaje de crecimiento de la biomasa de los diferentes tratamientos de peletizada en los meses de conteo con respecto al valor de biomasa inicial. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz	34

Figura 16. Número de cocones en los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz35

Figura 17. Número de cocones en los tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz36

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. <i>E. foetida</i> de color más claro y con el pardeado característico y <i>E. andrei</i> de color violácea.....	4
Fotografía 2. Adulto de <i>Eisenia foetida</i>	14
Fotografía 3. Paja inalterada y paja peletizada utilizada en el ensayo	14
Fotografía 4. Cascarilla de arroz utilizada en el ensayo.....	15
Fotografía 5. Lombrices en agua para limpieza de intestino.....	16
Fotografía 6. Pesada de biomasa inicial de 6 lombrices	17
Fotografía 7. Muestras en estufa para determinación de la humedad	19
Fotografía 8. Resultado de un muestreo: cocones, lombrices jóvenes y adultas	20
Fotografía 9. Material de una maceta listo para ser contado.....	20
Fotografía 10. Comparativa del número de lombrices totales en 100Pe y 20Pe80C tratamientos de peletizada	32
Fotografía 11. Comparativa de la biomasa de 20Pe80C y 100Pe. La primera con gran cantidad de cascarilla de arroz y la segunda sin cascarilla. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.	35
Fotografía 12. Producto final de los vermicomposts de 100Pe, 80Pe20C y 60Pe40C ..	39

RESUMEN DESCRIPTIVO DEL TRABAJO

El vermicompostaje es un proceso de transformación de residuos orgánicos en un producto con la utilización de lombrices de tierra y el objetivo de la bioestabilización del residuo utilizado. Es una estrategia para la descomposición de la gran cantidad de residuos orgánicos que son generados en todo el mundo.

La lombriz mejora las propiedades físico-químicas de los materiales de partida en un periodo corto de tiempo. Los residuos orgánicos que pueden ser ingeridos por las lombrices son muy variados, siendo los más frecuentes los basados en estiércoles y residuos verdes. Para la producción de vermicompost interesa trabajar con especies de lombrices altamente productivas, con alta tasa de descomposición y de reproducción. Las más utilizadas pertenecen al género *Eisenia*, destacando las especies *E. foetida* y *E. andrei*. La especie utilizada en esta experiencia es *Eisenia foetida*.

El material orgánico utilizado en este ensayo proviene del proceso de producción de *Pleurotus ostreatus*, que una vez finalizado, genera un residuo de paja de cereales que va a ser transformado mediante técnicas de vermicompostaje. Este residuo de paja se ha utilizado también de forma peletizada, puro y mezclado con cascarilla de arroz.

Se ha evaluado el comportamiento de *Eisenia foetida* en el proceso de vermicompostaje durante 5 meses, con una población inicial de 6 lombrices adultas, realizando 10 tratamientos con 5 repeticiones, con los residuos de paja inalterada y peletizada, puros y mezclados con cascarilla de arroz en diferentes porcentajes. Las variables que se han estudiado en el desarrollo de las lombrices han sido: número de lombrices, biomasa total y biomasa media/lombriz y producción de cocones. Por último se han caracterizado los vermicompost de las dietas con mejor comportamiento en el vermicompostaje.

Los datos que se recogieron en los muestreos mensuales de *Eisenia foetida* han sido el número y biomasa de lombrices adultas (con presencia de clitelo), número y biomasa de jóvenes mayores de 2 cm y número de cocones.

Los resultados en los tratamientos de paja inalterada presentan un gradiente descendente en el número total de lombrices y biomasa total a medida que el contenido de cascarilla de arroz aumenta. Presentó un incremento medio en la población de lombrices de 365%, y un decrecimiento de biomasa total en todos los tratamientos con una media de -43,5%. El incremento en biomasa de las lombrices jóvenes fue menor que la pérdida de biomasa de las lombrices adultas.

En los tratamientos de paja peletizada el número total de lombrices no se relaciona con la biomasa total, esto es así porque la biomasa media por lombriz es mayor en el tratamiento sin cascarilla de arroz. Presenta un incremento medio de la población de 1500% y un crecimiento de biomasa total en todos los tratamientos, menos en el que contiene más cascarilla de arroz, con una media de 330%.

La biomasa total de lombrices y el porcentaje de cascarilla de arroz presente en los tratamientos mostraron una alta correlación lineal inversa en ambos grupos de dietas (con paja inalterada y con paja peletizada), con valores de R^2 de 83% y 97%, respectivamente.

El número de cocones producidos en el ensayo disminuye a medida que aumenta el porcentaje de cascarilla de arroz. Sin embargo, el número de lombrices por cocón en los tratamientos de paja peletizada, no guarda esa relación con la cascarilla, tratamientos con cascarilla de arroz superan (5 lombrices/cocón) al tratamiento sin cascarilla (1,6 lombrices/cocón).

El vermicompost de paja inalterada (sin cascarilla de arroz) y los tres vermicomposts de paja peletizada con menores porcentajes de cascarilla de arroz (20,40 y 60%), se analizaron químicamente por haber sido los tratamientos que mejor se comportaron en el proceso de vermicompostaje. Son productos orgánicos, por tener un porcentaje de materia orgánica total, en todos los casos, mayor del 50%. Respecto al pH, el vermicompost de paja inalterada es prácticamente neutro (<7,5) y los tres tratamientos de paja peletizada son básicos (8,4-8,6). Todos ellos son salinos y presentan un contenido de nitrógeno por encima del 1%.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Lombricultura: definición y origen

La lombricultura es una biotecnología que utiliza a la lombriz, como una herramienta de trabajo. Es una alternativa ecológica y económicamente sustentable, que permite reciclar desechos sólidos de diversas fuentes, desde residuos de cocina hasta lodos residuales de grandes ciudades y de la que se obtienen fundamentalmente dos productos: el vermicompost y la carne (Shahmansouri *et al.*, 2005; Recalde, 2008).

La lombricultura tiene distintas aplicaciones: como hobby (vermicompost para jardinería, floricultura; lombrices para pesca, gallineros), de carácter comercial (producción de vermicompost, alimentación animal, tratamientos de residuos orgánicos, agrícolas, urbanos...), hasta la utilización de las 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 la lombricultura intensiva se dispone el material orgánico descompuesto en capas, que recibe el nombre de lecho, sobre el cual se incorporan las lombrices con un objetivo claro: conseguir la máxima cantidad de vermicompost y/o de lombriz en el menor tiempo posible.

El origen de la lombricultura se remonta a la década de los años 40-50 en California, EE.UU. donde se sientan las bases para el cultivo intensivo de lombrices rojas. A finales de los 70 y principios de los 80 se implanta con fuerza en España (Ferruzzi, 1986; Schuldt, 2006; Bueno, 2015).

Es importante distinguir entre dos términos que, a veces, dan lugar a confusión: el vermicompostaje y la lombricultura. El vermicompostaje, es el proceso por el cual las lombrices son utilizadas con el fin de convertir residuos orgánicos en vermicompost, un producto orgánico caracterizado por su valor agrícola y como enmendante de suelos. Sin embargo, el objetivo de la lombricultura es maximizar el cultivo de lombrices sin perseguir una óptima bioestabilización del residuo utilizado para la alimentación (Edwards, 1988; Nogales *et al.*, 2014).

1.2. La lombriz

La clasificación taxonómica de la lombriz de tierra es:

- Reino: *Animalia*
- Subreino: *Eumetazoa*
- Filo: *Annelida*
- Clase: *Oligochaeta*
- Subclase: *Diploesticulata*
- Superorden: *Megadrili*

- Orden: *Haplotaxida*
- Suborden: *Lumbricina*
- Superfamilia: *Lumbricoidea*
- Familia: *Lumbricidae*

Dentro de la familia *Lumbricidae*, se ha trabajado con la especie *Eisenia foetida* (Savigny, 1826). Las lombrices se clasifican según su ecología en tres categorías, atendiendo a sus estrategias de alimentación y de formación de galerías: epigeas, endogeas y anécicas (Bouché, 1977).

Las especies epigeas viven en el horizonte orgánico, próximas a la superficie del suelo, alimentándose de materia orgánica en descomposición (restos vegetales, heces de animales...). Suelen ser de pequeño tamaño y han sido las especies más utilizadas en vermicompostaje debido a la capacidad de colonizar residuos orgánicos de forma natural, con altas tasas reproductivas y metabólicas permitiéndoles adaptarse a las condiciones tan variables de la superficie del suelo, presentan una alta tasa de consumo, digestión y asimilación de la materia orgánica. Dentro de este grupo se encuentran especies como *Eisenia foetida*, *E. andrei*, *Lumbricus rubellus*... Las especies endogeas viven a mayor profundidad en el perfil del suelo, alimentándose de suelo y de materia orgánica asociada. Construyen sistemas de galerías horizontales muy ramificadas. A diferencia de las epigeas, las especies endogeas presentan tasas de reproducción más bajas y ciclos de vida más largos, sin embargo, son más resistentes a períodos de ausencia de alimento. *Aporrectodea caliginosa* y *Octolasion cyaneum* son especies pertenecientes a este grupo. Las especies anécicas viven de forma permanente en galerías verticales, extendiéndose varios metros hacia el interior del perfil del suelo. Por las noches emergen a la superficie para alimentarse de hojarasca, heces y materia orgánica en descomposición, que transportan al fondo de sus galerías. Son de gran tamaño. Algunas especies de este grupo son *Lumbricus terrestris* y *Aporrectodea trapezoide* (Domínguez y Gómez-Brandón, 2010).

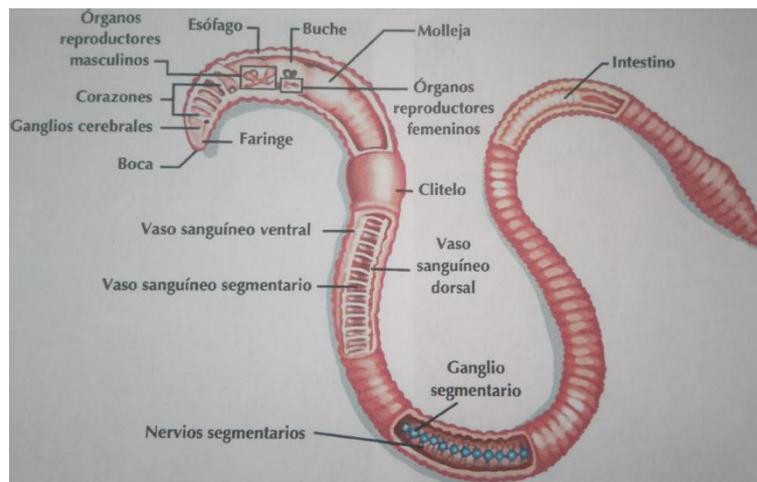
La lombriz modifica las propiedades físicas del suelo como la porosidad, agregación y estabilidad al excavar galerías (Lavelle y Spain, 2001). También influye en determinadas propiedades químicas y biológicas, como la disponibilidad de nutrientes, la tasa de descomposición de la materia orgánica y la composición y actividad de los microorganismos del suelo (Domínguez, 2004).

El número de especies de lombrices terrestres descritas se sitúa en torno a 8500, y cada año se describen una media de 68 especies nuevas, de las que sólo se conoce el género al que pertenecen y su descripción morfológica, desconociendo sus ciclos de vida y su ecología (Reynolds y Wetzel, 2010).

Las lombrices de tierra poseen un cuerpo segmentado, revestido externamente por una cutícula quitinosa, que es secretada por un epitelio subyacente, que consiste en una única capa de células cilíndricas, por debajo de las cuales se encuentran las fibras musculares lisas. Está dotada de sistema circulatorio, nervioso y muscular. Este último está muy desarrollado tanto en sentido longitudinal como transversal, lo que le permite

efectuar cualquier tipo de movimiento. Poseen cinco corazones y otros tantos pares de riñones. Su respiración es a través de la piel. Para obtener el alimento, la lombriz chupa la comida a través de su boca. No posee dientes, por lo que el alimento debe estar húmedo.

En el movimiento de avance es cuando abre la boca y chupa la comida con su fuerte aparato bucal succionador, seguido de una faringe muscular, un delgado esófago, buche y una molleja muscular para moler la tierra ingerida. El resto del cuerpo es un intestino largo y un recto con una gran colonia de hongos, bacterias y otros microorganismos que hacen una poderosa flora y fauna digestiva (Figura 1).



Fuente: Bueno, 2015.

Figura 1. Esquema de anatomía de la lombriz.

Son fotofóbicas y poseen unas células especiales colocadas a lo largo de su cuerpo que le avisan de la presencia de luz.

Las lombrices son hermafroditas, dotadas de un aparato genital masculino y de un aparato genital femenino y realizan fecundaciones cruzadas. En general, son incapaces de autofecundarse. En cada acoplamiento, una lombriz recibe el esperma de la otra y lo retiene en su propio aparato genital femenino hasta la fecundación. El clítelos (franja de su cuerpo más ancha que se desarrolla cuando el individuo alcanza su madurez) segrega una sustancia que las mantiene unidas durante dos o tres horas.

De la fecundación se obtiene el capullo o cápsula, que es llamado cocón, con forma de pera y sellado por los dos extremos, de color amarillo-verdoso en sus primeros estadios y que se va oscureciendo hasta el momento del nacimiento, a los 21-30 días de incubación (en condiciones adecuadas). Al nacer, el número de lombrices jóvenes varía entre 2 y 21 por cocón, aunque normalmente ese número suele ser de 4 a 6 lombrices. Desde el momento de su nacimiento, las lombrices son autosuficientes y sólo necesitan para sobrevivir que el sustrato sea lo suficientemente húmedo y tierno para poder ser perforado por su minúscula boca.

La longitud que llegan a medir es muy variable dependiendo de la especie a la que pertenezca: desde unos pocos centímetros (6-8) en el caso la lombriz roja, pasando por los 20 cm que puede tener la lombriz de tierra común hasta las lombrices “de profundidad” que pueden superar los 50 cm de longitud (Ferruzzi, 1986; Schuldt, 2006; Bueno, 2015).

1.3. Las lombrices usadas en lombricultura

Las especies de lombriz más utilizadas en la lombricultura intensiva son:

- *Eisenia foetida*
- *Eisenia andrei*
- *Lombricus rubellus*

Sin embargo, cuando se habla en términos de producción, interesa la cantidad de vermicompost que se puede elaborar en una superficie y un tiempo dados y las especies más aptas para cultivos en todas las latitudes, particularmente en las medias y altas son *Eisenia foetida* y *E. andrei*. Hasta los años 70 se consideraron como pertenecientes a la misma especie, pero en la actualidad se reconocen dos especies diferentes. *Eisenia foetida* es roja o parda, pero en el límite entre los segmentos posee bandas amarillentas que le proporciona un aspecto “atigrado”. *Eisenia andrei* es rojo-violácea, uniforme sin el bandeado (Fotografía 1). Ambas especies son capaces de copular entre sí pero sin proporcionar descendencia (Ferruzzi, 1986; Schuldt, 2006). En este ensayo se ha trabajado con *E. foetida*.



Fuente: <http://www.lombritek.com>

Fotografía 1. *E. foetida* de color más claro y con el pardeado característico y *E. andrei* de color violácea.

1.3.1. *Eisenia foetida*: características y hábitat de la especie

E. foetida son las lombrices mal denominadas como lombrices rojas “de California”, ya que su procedencia es Eurasia. Todo indica que se trata de unos híbridos obtenidos a partir de los años 40 en los criaderos californianos de lombrices para pesca, cuyos ancestros eran lombrices rojas seleccionadas de estercoleros de varios países, entre los que se hallaban ejemplares procedentes de estercoleros de España e Italia (Bueno, 2015).

Las lombrices *Eisenia foetida* son relativamente pequeñas. Una lombriz adulta pesa aproximadamente un gramo y mide de 5 a 9 cm, con entre 3 y 9 mm de diámetro. Son de color rojo o pardo y poseen bandas amarillentas. Las lombrices recién salidas del cócón miden entre 0,5 y 1,2 cm y son de color blanco o casi transparente. Su temperatura corporal oscila entre los 19 y 20°C (Ferruzzi, 1986; Schuldt, 2006).

Las características que dan peso a la elección de esta lombriz por encima del resto son muy concretas. Se caracterizan por su gran avidez y voracidad para ingerir materia orgánica (tanto fresca como en descomposición), capaces de tragar y digerir hasta su propio peso en un solo día. Su corto ciclo de vida y su elevada frecuencia de apareamiento les permite duplicar su población en apenas 2-3 meses, en condiciones adecuadas. Tienen una mayor longevidad y gran adaptabilidad en la cría en ambientes reducidos.

Poseen un admirable mecanismo de autorregulación en su proceso de procreación. Cuando hay excedentes de comida en su entorno se reproducen y multiplican a gran velocidad, mientras que en la época de escasez de nutrientes 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).

1.3.2. Condiciones óptimas para desarrollo de *Eisenia foetida*

Los parámetros que definen fundamentalmente el hábitat óptimo de *E. foetida* se centran en: humedad, oscuridad del hábitat, temperatura, relación C/N de la dieta que digieren y pH del sustrato en el que viven.

- Humedad y oscuridad

El contenido óptimo de humedad para el sustrato en el que se desarrollan es del 80-85%, tolerando un rango entre 60- 90% (Edwards *et al.*, 2015). Para determinarla, el método indicado por Ferruzzi (1986) consiste en comprimir un puñado del material con la mano y comprobar que estando suficientemente húmedo, suelte las menores gotas posibles. Ello indica un porcentaje de humedad alrededor del 70-80%. En condiciones de laboratorio, la humedad del sustrato se calcula por secado a no más de 30°C hasta peso constante. Al ser fotofóbicas, requieren un cobijo en permanente oscuridad.

- Temperatura

Toleran un rango amplio de temperatura y humedad, lo que las hace muy resistentes, convirtiéndose en especie dominante en cultivos mixtos. La temperatura óptima para su crecimiento es 25°C, ampliándose el rango a 25-28°C. La temperatura crítica a la cual se produce su muerte es de 33°C. La puesta se detiene a 10°C, sin que se produzca regresión de órganos sexuales, por lo que se puede reanudar una vez que suba

la temperatura. Por lo tanto, toleran relativamente bien rangos de temperatura entre 10°C y 30°C, estableciéndose su óptimo entre 24°C y 27° (Domínguez y Edwards, 1997; Domínguez, 2004; Domínguez y Gómez-Brandón, 2010).

- Relación C/N del sustrato

Una alimentación equilibrada de las lombrices se consigue cuando la proporción C/N es lo más cercana posible a 30/1. Edwards *et al.* (2015) establece un radio de 25/1 a 30/1. Esto se puede conseguir mezclando proporcionalmente plantas frescas y verdes, materiales y restos orgánicos acuosos, con materias orgánicas leñosas y secas, paja triturada, hojas secas...(Bueno, 2015).

- pH

Conviene que las condiciones del sustrato donde van a vivir las lombrices, sea lo más neutro posible, o como excepción ligeramente alcalinas (pH= 6-9) (Edwards *et al.*, 2015).

1.3.3. Ciclo de vida de *Eisenia foetida*

En cautividad *Eisenia foetida* puede llegar fácilmente a los 5 años. La talla máxima (eventualmente 12 cm) la adquiere al término de 5-6 meses. Semanalmente y durante todo el año produce más de una puesta (capullo o cocón), en un medio/alimento adecuado. La temperatura óptima para el desarrollo de los cocones es de aproximadamente 20-25°C. Pasados de 14 a 44 días después de la cópula, con una media de 23 días, las lombrices juveniles eclosionan del cocón (Venter y Reinecke, 1988). La viabilidad de eclosión es del 72-82%. (Schuldt, 2006; Bueno, 2015). Su ciclo de vida se resume en la figura 2.



Fuente: <http://www.lombricescalifornianaschile.com>

Figura 2. Ciclo de vida de *Eisenia foetida*.

1.4. La importancia del reciclaje de residuos orgánicos con el vermicompostaje

Según el Instituto Nacional de Estadística (2013), en España se producen anualmente en torno a 20 millones de toneladas de residuos orgánicos y la mayoría de ellos terminan en vertederos o incinerados, debido a que los residuos orgánicos difícilmente pueden ser reutilizados. El compostaje y el vermicompostaje son buenas opciones para su reciclado.

La generación de residuos sólidos orgánicos en las actividades urbanas, agropecuarias e industriales representa una de las principales formas de deterioro del medio ambiente al no existir un aprovechamiento racional o un reciclaje sistemático generalizado (Acosta *et al.*, 2013).

Por esto, una de las grandes ventajas sociales y medioambientales del vermicompostaje es la reducción de los problemas de contaminación ambiental provocados por los desechos orgánicos sólidos. Si se consigue reciclar los desechos sólidos orgánicos domésticos, se reduciría entre un 30 y un 40% las salidas de casa para el vaciado de la basura doméstica, con lo que eso conlleva a escala de ahorro en transporte y procesado para los servicios municipales de gestión de los residuos sólidos urbanos (Bueno, 2015).

Existe un gran número de residuos orgánicos generados por diferentes actividades agrícolas, urbanas e industriales que han sido ensayados y utilizados exitosamente en los procesos de vermicompostaje. Tradicionalmente los estiércoles de distinto origen animal (vacuno, equino, ovino, caprino, gallinaza...) han sido considerados como materiales óptimos para la dieta de diversas especies de lombrices.

También existe gran número de residuos orgánicos generados por diversas actividades de nuestra sociedad que, a pesar de no ser considerados óptimos para el desarrollo de las lombrices en condiciones naturales, han sido bioestabilizados eficazmente por medio del vermicompostaje (Nogales *et al.*, 2014). Por ejemplo Fernández-Gómez *et al.* (2010 a y b, 2013) ha realizado experimento con *E. foetida* y *E. andrei* en residuos vegetales de invernadero, Orozco *et al.* (1996) con residuos de cafetería, Marsh *et al.* (2005) con residuos industriales de piscifactorías, Melgar *et al.* (2009) con residuos de olivar.

1.5. Alimentación de las lombrices

Es importante en la alimentación de las lombrices que la materia orgánica que se le añade esté apta para su ingesta en el momento que se les suministra. Por ello, es recomendable un proceso de compostaje previo (Schuldt, 2006). Esta etapa es fundamental para adecuar los residuos orgánicos, posibilitando el aumento de su biomasa microbiana. Los residuos precompostados podrían ser más aceptables causando menos mortalidad a las lombrices, ya que es probable que contengan menores componentes potencialmente tóxicos, como el amonio o sales de los estiércoles animales, o taninos y ácidos en desechos verdes. Este precompostaje hace que el

proceso total de vermicompostaje dure más tiempo pero podría evitar la mortalidad de las lombrices (Gunadi *et al.*, 2002; Acosta *et al.*, 2013).

Ante la necesidad de adicionar una nueva alimentación a las lombrices, se recomienda hacer una prueba a pequeña escala con la dieta que se esté probando para comprobar su inocuidad. Un método rápido es la llamada “prueba de la caja” que evalúa si el residuo orgánico cumple con los requisitos para ser ingerido por las lombrices. Consiste en colocar 50 lombrices en una caja con el residuo orgánico con el que se pretende alimentarlas y si tras 24 horas hay menos de 49 vivas en el conteo que se realice, significa que el alimento no puede utilizarse y debe continuar su acondicionamiento (Nogales *et al.*, 2014).

Los materiales orgánicos que pueden ser ingeridos por las lombrices son muy variados. Los más frecuentemente utilizados se basan en los estiércoles y residuos verdes. Se hace mención en especial a la paja de cereales y la cascarilla de arroz, por ser los materiales empleados en este trabajo.

1.5.1. Estiércol

Entre los estiércoles empleados destaca el estiércol equino, al ser óptimo por su alto contenido en paja. Es una dieta muy indicada para construir el sustrato inicial de un lecho, para ser fuente de alimento en el periodo invernal o como El estiércol vacuno es muy bueno y también utilizable como sustrato inicial y como alimento durante cualquier etapa de la producción de vermicompost. El tiempo de envejecimiento necesario para obtener un pH aceptable es aproximadamente de 2 meses en ambos casos, ya que es necesario que haya sido previamente digerido por la actividad enzimática, bacteriana y fúngica de los microorganismos descomponedores.

El estiércol de ovino y caprino son productos bastante buenos, pero menos utilizados que los dos primeros y su periodo de envejecimiento para posterior transformación en vermicompost es de 1 a 2 meses. El purín proveniente de las granjas porcinas es aconsejable siempre que haya tenido un tratamiento previo y separe la parte sólida de la líquida (agua y orina). El estiércol cunícola es el que menos tiempo de envejecimiento tiene, ya que con ser aireado puede ser suministrado (Ferruzzi, 1986; Schuldt, 2007; Bueno, 2015).

Es posible iniciar un cultivo de *Eisenia foetida* con estiércoles frescos, pero es inconveniente hacerlo en la estación cálida y/o en grandes volúmenes por la posibilidad de que se desencadenen reacciones exotérmicas propias de los procesos de compostaje aeróbicos. El vermicompost producido a partir de estiércoles que no tengan cierto grado de compostación posee un contenido muy bajo de ácidos húmicos (Schuldt, 2006).

1.5.2. Otros residuos orgánicos

La producción de residuos vegetales derivados de la actividad agrícola es considerable, por lo que es una fuente de residuos a explotar. La mayor producción de residuos agrícolas corresponde al sector cerealista. Estos residuos poseen baja humedad,

alto contenido en celulosa y una relación C/N muy elevada, por lo que son residuos que tardarán en ser asimilados por las lombrices. En cambio, los residuos hortícolas (a los que se les va a denominar residuos verdes), al tratarse de residuos de cultivos cosechados antes de su senescencia vegetal, disponen de un alto contenido en humedad y una relación C/N en torno a 15-30, por lo que son fácilmente biodegradables. Si el contenido de humedad es alto, se puede acelerar su proceso de putrefacción y las condiciones aerobias necesarias para el proceso de vermicompostaje se pueden ver afectadas. Por esto, es recomendable mezclar este residuo verde con material seco. Los restos vegetales de cultivos muy ácidos, como los tomates, pueden causar bajadas de pH, influyendo negativamente en el desarrollo de las lombrices.

Teniendo en cuenta los residuos domésticos y que el proceso de vermicompostaje se puede realizar en cualquier lugar, se indican una serie de residuos orgánicos domésticos en la tabla 1.

Tabla 1. Residuos domésticos y propiedades para el vermicompostaje.

Residuo	Propiedades para el vermicompostaje
Restos de jardín	Mezclar residuo verde y restos de poda a fin de tener una buena relación C/N
Piel y restos de fruta y verdura	Excelentes para vermicompostaje con alguna excepción
Papel y cartón	Siempre que no contengan aceite para mejorar la aireación y absorción del resto de humedad
Restos de café	En pequeñas cantidades por su acidez
Cáscaras de huevo	Muy troceadas, excelentes para mantener controlado el pH

En los restos de jardín hay que tener especial cuidado con el césped, ya que suele compactarse por su alto contenido en agua y puede hacer que la pila de vermicompost fermente anaeróticamente. Para evitarlo, se debe dejar que el césped pierda humedad durante algunos días y mezclarlo con restos de poda para evitar su compactación. Los setos de coníferas son comunes en muchos jardines, su pH ácido y su alto contenido en resina, pueden parar el proceso de vermicompostaje por su difícil descomposición. En restos de fruta la problemática viene por los restos ácidos, como los cítricos.

1.5.3. Paja procedente de la producción de setas

Este residuo constituye la base de las dietas de las lombrices empleadas en este trabajo, tanto inalterada como peletizada.

El cultivo de setas del que se ha obtenido el residuo estudiado es de *Pleurotus ostreatus*, una especie de hongo basidiomiceto con células en forma de maza que producen basidios, que es una estructura microscópica productora de esporas sexuales utilizadas en su estrategia de reproducción.

Pleurotus ostreatus es un ser saprófito, por lo que extrae carbohidratos, proteínas y minerales de organismos muertos o en descomposición. Durante la formación y constitución del micelio la seta utiliza mucha lignina. Por esto, el sustrato universal utilizado en el cultivo de este hongo es la paja de cereales, al ser rica en celulosa y lignina. Según datos del MAPAMA del año 2016, los cereales son el sector con mayor base territorial y con distribución a lo largo de todo el territorio, con una media de 6 millones de hectáreas y una producción de 20 millones de toneladas, por lo que es un subproducto fácil de encontrar que a su vez se convierte en materia prima en el cultivo de setas. Ésta, empleada como sustrato, se le puede mezclar aditivos como nitrato cálcico, carbonato cálcico...cuya finalidad es la obtención de una mejor nutrición de la seta.

Las fases del cultivo de *Pleurotus ostreatus* son: siembra, incubación y producción. Para la siembra se utilizan los denominados micelios, que son las esporas ya desarrolladas que han expandido sus hifas recubriendo algún elemento de sostén, en este caso suele ser la semilla de cereales aunque también se puede producir sobre la misma paja. El periodo de incubación se lleva a cabo inmediatamente después de la siembra, sin dejar transcurrir mucho tiempo, puesto que en este estadio el micelio se desarrolla por toda la masa, terminando cuando el sustrato se encuentra invadido en su mayor parte y presenta el color blanco característico de una buena incubación. Y por último la producción de setas donde se pretende que los cuerpos fructíferos alcancen el tamaño comercial (Pardo *et al.*, 2008).

La paja de cereales empleada en el cultivo de setas es un sustrato poco homogéneo. Se trata de un material con una humedad baja, en torno a un 15-20% y muy baja densidad. Representa un elevado contenido en carbono orgánico oxidable y un contenido medio de nitrógeno, por lo que la relación C/N es elevada. El contenido en elementos nutrientes es muy bajo (Moya y Checa, 2004).

1.5.4. Cascarilla de arroz

Las dietas estudiadas en este trabajo mezclan diferentes proporciones de cascarilla de arroz con paja inalterada y paja peletizada, por lo que se considera necesario caracterizar este material.

El arroz es uno de los cultivos implantados en la mitad sur de España. La producción está muy concentrada y se reparte más del 93% entre Andalucía, Extremadura, Cataluña y Valencia (MAPAMA, campaña 2015/2016), con una producción total de 900.000 toneladas de grano con cáscara. Según datos obtenidos en la SCA Arroceros de Puebla del Río, el porcentaje del peso de la cascarilla con respecto al total es del 18-22% dependiendo de la variedad, llegando incluso al 25% si la variedad de arroz es de grano redondo. Con una producción de 900.000 toneladas de arroz con cáscara y con un valor medio del 20% de ese peso en cascarilla de arroz, se estiman 180.000 toneladas de cascarilla de arroz que se producen anualmente en España. Por tanto, la cascarilla de arroz no parece un subproducto limitado si se quiere realizar una dieta a las lombrices en base a ello.

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera. Entre sus propiedades físico-químicas destaca un porcentaje de humedad (8,7%) bajo, una densidad aparente de 0,115 g/cm³ y realizando una suspensión acuosa 1/6 (vol/vol) se ha obtenido un pH neutro de 6,42 y una conductividad eléctrica en el extracto de 0,39 dS/m (UPV, 2014). Según Valverde *et al.* (2007) y la Universidad Politécnica de Valencia la relación C/N es alta, comprendiendo valores entre 40-50 y en lo que sí coinciden ambas referencias es en un bajo porcentaje de nitrógeno (0,7-0,8) y un alto contenido en silicio 20% aproximadamente.

Los principales inconvenientes que presenta la cascarilla de arroz para el vermicompostaje son su baja tasa de descomposición, por lo que es un material de difícil degradación, y su baja capacidad de retención de humedad, lo que resulta un factor limitante a la hora de efectuar el riego. Debido a estas dos características, la dieta de las lombrices no puede basarse en la cascarilla de arroz. El objetivo de su inclusión en este trabajo ha sido la mejora de la aireación en los tratamientos de paja peletizada. Los tratamientos de paja inalterada se sometieron a idénticas mezclas.

1.6. Vermicompost

El vermicompost también llamado compost de lombriz o humus de lombriz, es el principal producto del proceso de vermicompostaje. Resulta de las transformaciones bioquímicas y microbiológicas que tienen lugar en los residuos orgánicos durante el proceso de ingestión y digestión por las lombrices, así como de la actividad microbiana asociada al vermicompostaje. La mayoría de las empresas que procesan residuos orgánicos mediante esta tecnología de bajo coste tienen como objetivo elaborar este producto para su utilización como enmienda orgánica del suelo con fines agrícolas (Nogales *et al.*, 2014).

El vermicompost frente al compost, presenta algunas ventajas como:

1. Las lombrices son capaces de descomponer la materia orgánica más rápido.
2. El producto final presenta mejor estructura, mayor contenido en microorganismos beneficiosos y menor CE.
3. Generalmente contiene una mayor concentración de nutrientes disponibles.
4. Mayor potencial económico para su venta.

1.6.1. Características y composición

Las características, propiedades y calidad de los vermicomposts dependen de la naturaleza del residuo orgánico utilizado, del sistema empleado y de la escala del proceso de vermicompostaje, de los parámetros determinantes del proceso (condiciones ambientales, duración, especie de lombriz utilizada) y de la incorporación o no de una etapa de maduración final tras la retirada de las lombrices.

El vermicompost es un fertilizante orgánico de alta calidad, que aporta de forma equilibrada, y a largo plazo, todos los nutrientes básicos que necesitan las plantas para su buen desarrollo. Al incorporar humus de lombriz a la tierra se mejora su estructura,

ya que reduce el apelmazamiento en tierras arcillosas e incorpora sustancias agregantes en las arenosas (Nogales *et al.*, 2014).

En cuanto a las propiedades físicas, el vermicompost tiene una estructura granular, formada por partículas de pequeño tamaño (<0,3 mm) que forman agregados estables de tamaño variable. La densidad aparente de los vermicompost varía entre 0,35 y 0,70 g/cm³ y su densidad real entre 1,7 y 1,95 g/cm³. La porosidad tiene valores entre 80 y 85% y la capacidad de retención de agua entre 25-45%.

Las propiedades químicas dependen mucho del residuo orgánico utilizado. Sin embargo se pueden establecer ciertos rangos en todos los parámetros de interés. El pH varía entre 5,5 y 8,5, estableciéndose mayoritariamente los valores entre 6,5 y 7,5. La conductividad eléctrica es baja, ya que las lombrices no sobreviven en procesos de vermicompostaje a valores de conductividad superiores a 8 dS/m. La normativa NMX-FF-109-SCFI-2008, específica que los vermicompost deben tener una conductividad menor o igual a 4 dS/m medida en extracto acuoso vermicompost: agua destilada (1:5). La capacidad de intercambio catiónico varía entre 50 y 100 cmol/kg.

Además los vermicomposts muestran concentraciones variables de nutrientes esenciales para los suelos y cultivos y con diferente grado de asimilabilidad para las plantas. Esa variabilidad depende del tipo de residuo orgánico estabilizado y de las características y condiciones del proceso de vermicompostaje. En general, contienen escasa concentraciones de metales pesados, y salvo alguna excepción, su utilización no supone un riesgo de contaminación del medio edáfico.

Una de las características más importantes de los vermicompost es su carga biológica. En general, son productos que se caracterizan por contener un elevado número de microorganismos responsables de diferentes actividades enzimáticas (Schuldt, 2006; Nogales *et al.*, 2014; Bueno, 2015).

1.6.2. Legislación en España sobre vermicompost

Según el Real Decreto 506/2013 (BOE num 164 del 10 de Julio del 2013) de la legislación española de productos fertilizantes, el vermicompost es incluido en el grupo 6 de “Enmiendas Orgánicas” y se define como producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión de lombrices en condiciones controladas y debe cumplir ciertos requisitos para ser comercializado, entre ellos, una materia orgánica total mayor o igual del 30%, que el 90% de las partículas pasen por la malla de 25mm y una serie de contenidos en nutrientes que deben declararse y garantizarse.

También aparece en el Real Decreto 865/2010 de sustratos de cultivo como sustitutivos de suelo tradicional, en el Grupo 1: productos orgánicos como sustratos de cultivo o componentes de los mismos. Éste Real Decreto además establece que los vermicompost que se empleen con tal fin no superen la carga microbiana patógena y ciertas concentraciones de metales pesados. Las características que se fijan en la legislación española se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Mínimos requisitos a cumplir por un producto que se comercialice como vermicompost según la legislación española.

Contenido mínimo y máximo (% en masa)	Contenido que debe declararse y garantizarse
-Materia orgánica total: 30%	-Materia orgánica total
-Humedad máxima: 40%	-C orgánico
-C/N<20	-N total (si supera el 1%)
-El 90% de las partículas pasaran por la malla de 25mm	-N orgánico (si supera el 1%)
	-P ₂ O ₅ total (si supera el 1%)
	-K ₂ O (si supera el 1%)
	-Ácidos húmicos
	-Granulometría
	-Tipo o tipos de estiércoles empleados

1.7. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es conocer el comportamiento del proceso de vermicompostaje con la especie de lombriz *Eisenia foetida*, en el sustrato de paja inalterada proveniente del proceso de producción de *Pleurotus ostreatus* y paja peletizada, puros y mezclados con cascarilla de arroz para mejorar su aireación, que es especialmente limitante en el caso de la paja peletizada.

Para ello, se definen como objetivos específicos:

- Cuantificar los parámetros que definen el desarrollo de las lombrices en las dietas suministradas durante 150 días. Se ha trabajado con las variables: número de lombrices, biomasa total y biomasa media/lombriz.
- Cuantificar la producción de cocones en las diferentes dietas para valorar la velocidad del proceso de reproducción de la lombriz.
- Caracterizar químicamente los vermicompost de las dietas que mejor comportamiento han tenido en el proceso de vermicompostaje.

MATERIAL Y MÉTODOS

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Emplazamiento

El ensayo se desarrolló en los meses de abril a noviembre de 2016 en las instalaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Sevilla.

2.2. Descripción de materiales

2.2.1. Lombrices

Las lombrices utilizadas en los procesos de vermicompostaje desarrollados pertenecen a la especie *Eisenia foetida*, conocida comúnmente como lombriz roja californiana (Fotografía 2). Se ha elegido esta especie por su alta tasa de reproducción y gran voracidad. Fueron suministradas por la empresa Lombricultivos (Almensilla, Sevilla)



Fuente: <http://www.lombricesaragon.com>

Fotografía 2. Adulto de *Eisenia foetida*.

2.2.2. Residuos

Como resultado del proceso de producción de *Pleurotus ostreatus* se generan residuos de paja de cereales que pueden ser transformados mediante técnicas de vermicompostaje. Estos residuos de paja, bien de forma inalterada o de forma peletizada (para aumentar la densidad y a su vez la superficie de contacto sea mayor), han sido utilizados como dieta para este experimento (Fotografía 3). Se obtuvieron de la empresa Huertos de Hytasal (Sevilla).



Fotografía 3. Paja inalterada y paja peletizada utilizada en el ensayo.

La cascarilla de arroz ha sido otro subproducto que ha formado parte de la dieta de las lombrices, mezclada a diferentes porcentajes con la paja para mejorar la aireación (Fotografía 4). Fue suministrada por la Cooperativa Arrozuca (Isla Mayor, Sevilla).



Fotografía 4. Cascarilla de arroz utilizada en el ensayo.

2.2.3. Material complementario

Además del material comentado anteriormente, para la preparación del ensayo se necesitó:

- Macetas de plástico de 3 l de capacidad.
- Mallas de fibra.
- Gomillas de plástico.
- Platos de plástico.
- Bandejas de plástico y metal.
- Balanza de precisión.
- Coladores.
- Recipientes de cristal.
- Placas de Petri.
- Pinzas de disección
- Vasos de precipitado.

2.3. Dietas. Tratamientos aplicados

Este ensayo se ha compuesto por 10 tratamientos, 5 de paja inalterada y 5 de paja peletizada con 5 repeticiones cada uno, donde se combinaron diferentes porcentajes de cada subproducto. Los 10 tratamientos estudiados fueron:

Tratamientos de paja inalterada:

1. 100Pa: 100% paja.
2. 80Pa20C: 80% paja + 20% cascarilla de arroz.
3. 60Pa40C: 60% paja + 40% cascarilla de arroz.
4. 40Pa60C: 40% paja + 60% cascarilla de arroz.
5. 20Pa80C: 20% paja + 80% cascarilla de arroz.

Tratamientos de paja peletizada:

6. 100Pe: 100% peletizada.
7. 80Pe20C: 80% peletizada + 20% cascarilla de arroz.
8. 60Pe40C: 60% peletizada + 40% cascarilla de arroz.
9. 40Pe60C: 40% peletizada + 60% cascarilla de arroz.
10. 20Pe80C: 20% peletizada + 80% cascarilla de arroz.

Las proporciones entre los materiales de partida fueron en relación p/p.

2.4. Descripción del ensayo

2.4.1. Procedimiento. Montaje y puesta en marcha

Las lombrices fueron seleccionadas del lecho de lombricultura de la ETSIA. Se separaron las lombrices de la especie *Eisenia foetida* de *E. andrei* y se eligieron las mejores adultas (individuos clitelados), con un mayor tamaño. Se dejaron 24 horas en agua para asegurar que quedase limpio el intestino y la biomasa inicial no estuviese alterada por la ingesta de comida anterior (Fotografía 5).



Fotografía 5. Lombrices en agua para limpieza de intestino.

Los materiales seleccionados para la alimentación de las lombrices fueron mezclados en las proporciones correspondientes a cada tratamiento y humedecidas hasta alcanzar la humedad óptima para la cría y reproducción de *Eisenia foetida*, que se sitúa en valores próximos al 80% p/p (dieta/agua).

Cada dieta fue distribuida en 5 macetas/tratamiento. Las cantidades iniciales de productos añadidas fueron: 200 gramos a los tratamientos a base de paja, 300 gramos a los basados en material peletizado mezclado con cascarilla de arroz y 400 gramos al material peletizado puro. La diferencia de peso añadido en las macetas se debe a la diferente densidad de los materiales de partida. Se pretende que las macetas tengan un cierto volumen de material para que la lombriz pueda tener mayor residuo por el que moverse y pueda vivir en condiciones de oscuridad.

Una vez añadido el material usado como lecho a cada una de las macetas, se le añadieron a cada una 6 lombrices, anotando en cada caso la biomasa inicial (Fotografía 6). Para evitar el trasvase de lombrices entre macetas se colocó un geotextil grueso en la parte baja por el exterior y una malla perforada en la parte superior para facilitar el riego. Ambas quedaron sujetas con gomas de plástico. A cada maceta se le rotularon unas siglas para identificarlas fácilmente: “T” 1-5 indicando el tratamiento y “R” 1-5 refiriéndose a la repetición. Las macetas se situaron encima de un plato de plástico para evitar pérdidas de agua en el riego y mantener una mejor humedad en la maceta.



Fotografía 6. Pesada de biomasa inicial de 6 lombrices.

2.4.2. Condiciones del ensayo

Para asegurar una correcta cría y reproducción de lombriz y, por tanto, la mayor producción de vermicompost posible, hay que controlar ciertos factores en este experimento como: disponibilidad de dieta, humedad y temperatura.

Eisenia foetida toma el alimento chupándolo, por lo que es indispensable mantener una humedad adecuada en el ensayo. Se programaron riegos manuales con una frecuencia semanal utilizando un vaso de precipitado y, en los meses más calurosos, se dieron dos riegos a la semana. La cantidad de agua añadida por maceta estaba en torno a 100-120 ml por riego. El indicador que se manejaba para valorar si la dosis era correcta fue la aparición de lixiviados en los platos.

Se ha elegido el sótano de la ETSIA como emplazamiento para el ensayo por sus condiciones de oscuridad, ya que *Eisenia foetida* es fotofóbica. Otro factor que se ha tenido en cuenta en la elección del sótano es la temperatura. La temperatura óptima para el desarrollo de las lombrices es 25°C y en la zona donde se ha ubicado el ensayo, se han registrado temperaturas de 22-27°C, por lo que se considera que este factor se ha movido en valores óptimos.

Se aseguró que la lombriz tuviese alimento disponible en todo momento y para ello la reposición de dieta se hizo de diferente manera para los distintos tratamientos. Las cantidades añadidas y la fecha de reposición se recogen en la tabla 3.

Tabla 3. Fecha y cantidad de dieta suministrada a las lombrices.

Días tras puesta en marcha	Tratamientos de paja inalterada					Tratamientos paja peletizada				
	100Pa	80Pa20C	60Pa40C	40Pa60C	20Pa80C	100Pe	80Pe20C	60Pe40C	40Pe60C	20Pe80C
0	200g	200g	200g	200g	200g	400g	300g	300g	300g	300g
70		200g	200g	200g	200g	400g	300g	300g	300g	300g
114	300g									
120							300g	300g	250g	150g
Total	500g	400g	400g	400g	400g	800g	900g	900g	850g	750g

Pa: Paja inalterada, C: Cascarilla de arroz, Pe: Paja peletizada

2.5. Toma de datos

2.5.1. Determinaciones físico-químicas en los materiales de partida

En el momento del montaje del ensayo se determinaron en todos los tratamientos 3 parámetros de naturaleza físico-química: humedad, pH y conductividad eléctrica (CE).

Para la determinación de la humedad se tomaron pesos conocidos en dos muestras por cada tratamiento y se mantuvo en estufa a 105 grados hasta peso constante (Fotografía 7). Los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Porcentaje de humedad de los diferentes tratamientos en el montaje del ensayo.

Paja inalterada		Paja peletizada	
tto	% Humedad	Tto	% Humedad
100Pa	74.96	100Pe	78.08
80Pa20C	67.44	80Pe20C	80.60
60Pa40C	68.65	60Pe40C	78.14
40Pa60C	70.43	40Pe60C	75.09
20Pa80C	73.97	20Pe80C	78.53

Pa: Paja inalterada, C: Cascarilla de arroz, Pe: Paja peletizada

Los valores muestran como el porcentaje inicial de humedad es próximo al óptimo de 80%, debiéndose mantener este valor durante todo el ensayo.



Fotografía 7. Muestras en estufa para determinación de la humedad.

Debido a que un problema importante de *Eisenia foetida* puede ser la ingesta de residuos ácidos y muy alcalinos, se procedió a analizar el pH y CE de los tratamientos propuestos en este ensayo en agua con una relación 1:5 (p/p). Para las medidas se utilizaron un pHmetro y conductímetro de la marca Crison, proporcionados por el Departamento de Ciencias Agroforestales de la E.T.S.I.A. Los resultados se presentan en la tabla 5

Tabla 5. pH y conductividad eléctrica de los tratamientos estudiados en el montaje de la experiencia.

Paja inalterada			Paja peletizada		
tto	pH	CE (ms/cm)	tto	pH	CE (ms/cm)
100Pa	7.01	3.93	100Pa	6.55	1.80
80Pa20C	7.02	2.95	80Pa20C	6.28	1.21
60Pa40C	6.91	2.94	60Pa40C	6.20	0.92
40Pa60C	7.08	1.87	40Pa60C	6.15	0.53
20Pa80C	7.13	1.12	20Pa80C	6.14	0.40

Pa: Paja inalterada, C: Cascarilla de arroz, Pe: Paja peletizada

Todos los tratamientos mostraron un pH entre 6.1 y 7.1, lo que muestra valores óptimos para el desarrollo de las lombrices. La CE mostró su máximo valor en el tratamiento 100Pa y fue disminuyendo a medida que aumentó la proporción de cascarilla de arroz. La misma tendencia se observó en los tratamientos a base de paja peletizada.

2.5.2. Crecimiento y desarrollo de lombrices

Los datos que se recogieron de *Eisenia foetida* han sido el número y biomasa de lombrices adultas (con presencia de clitelo), número y biomasa de jóvenes mayores que 2 cm y número de cocones.

Desde abril a septiembre de 2016 se hizo una toma de datos mensual de cada una de las macetas. En cada conteo se separaban lombrices adultas, jóvenes y cocones, con

ayuda de pinzas de disección, se colocaban en un colador para limpiarlas para que así el peso medido posteriormente no esté alterado por ningún resto, y una vez limpias, se contaban y pesaban en una balanza (Fotografía 8).



Fotografía 8. Resultado de un muestreo: cocones, lombrices jóvenes y adultas.

Para el conteo de cocones, se separaban todos ellos en un colador y se sumergían en agua, por la técnica de flotación se desechaban los cocones vacíos y sólo se contaban los que permanecían en el fondo. Tras cada uno de estos conteos se devolvía a la maceta el residuo y las lombrices junto a los cocones que contenía (Fotografía 9).



Fotografía 9. Material de una maceta listo para ser contado.

Al finalizar el último conteo, los contenidos de las macetas de 3 litros de los tratamientos que mejor resultado habían mostrado se unificaron en una maceta de mayor tamaño para acelerar el proceso de vermicompostaje. En estas condiciones se mantuvo la experiencia durante un mes. Transcurrido ese tiempo se procedió a la separación de las lombrices de forma manual y a la toma de la muestra, que se envió al laboratorio para su caracterización

2.6. Caracterización físico-química de los vermicomposts obtenidos

Para estudiar la composición de los vermicomposts obtenidos se han analizado 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).

Para las determinaciones analíticas se siguieron las normas oficiales de aplicación para mejoradores del suelo y sustratos de cultivo, que brevemente se indican a continuación. Los análisis se realizaron en el Servicio de Investigación Agraria del CITIUS-Universidad de Sevilla.

- 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 (UNE-EN 13654-2)
- 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) (Australian Standard)
- Hierro, manganeso, zinc y cobre: Cloruro cálcico y ácido dietilendiaminopentaacético a pH: 2,65 (UNE-EN 13651)

2.7. Análisis de datos

Los tratamientos han sido analizados en función del porcentaje de cascarilla de arroz, por lo tanto los datos de número, biomasa, incremento del número y biomasa total de lombrices, son datos cuantitativos. Se han realizado dos análisis a los datos, el primero ha sido un análisis de regresión lineal con el programa Microsoft Excel, obteniendo la ecuación que relaciona el porcentaje de cascarilla con el dato en cuestión y el valor del coeficiente de correlación (R^2). El segundo ha sido un análisis de varianza para ver si hay diferencias significativas entre tratamientos. El programa de asistencia estadística utilizado fue Assistat, y los valores se obtuvieron a través de un test de Tukey ($p < 0,05$) para la distribución normal y el test de Friedman para los datos no paramétricos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan organizados en los dos grupos de tratamientos que se han estudiado: los basados en paja inalterada y los que tienen como base la paja peletizada.

3.1. Comportamiento de los tratamientos a base de paja inalterada

Los datos se presentan agrupados en las variables que caracterizan el crecimiento y desarrollo de las lombrices: número de individuos, tanto jóvenes (mayores de 2 cm y sin clitelo) como adultas y número total y la evolución de la biomasa de lombrices tanto adultas como biomasa total. El valor de las variables que se muestra corresponde siempre a la media de las 5 repeticiones de cada tratamiento.

3.1.1. Evolución del número de lombrices en paja inalterada

Lombrices adultas

Al inicio del ensayo se colocaron 6 lombrices adultas en cada repetición (maceta). La figura 3 presenta la evolución del número de lombrices adultas en las diferentes mezclas de los tratamientos a base de paja inalterada.

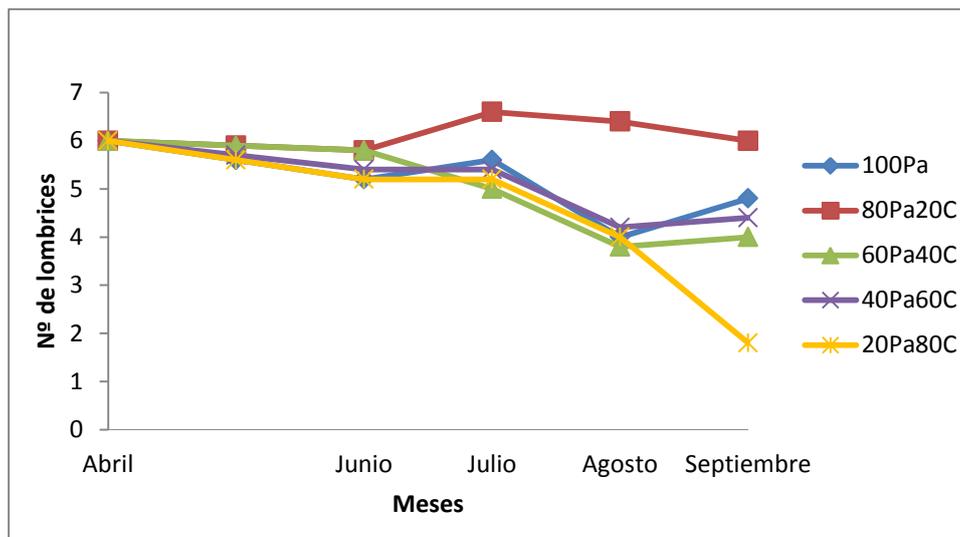


Figura 3. Evolución del número de lombrices adultas en los 5 meses de duración de la experiencia para los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.

La tendencia general de todos los tratamientos a base de paja inalterada es a disminuir el número de lombrices adultas a medida que avanza el tiempo de duración del ensayo. Ello indica que la dieta a la que han estado sometidas las lombrices no favorece su proceso de reproducción.

El único tratamiento en el que se observa un leve crecimiento es en el 80Pa20C, pero al final del experimento vuelve al número inicial de 6 lombrices. En 100Pa a partir del segundo mes de ensayo es cuando se observa una disminución del número de lombrices, Abbiramy y Ross (2012) presenta un estudio sobre vermicompostaje de

residuos de paja de setas en el que la población de lombrices adultas se mantiene en los primero 45 días. Sailila *et al.* (201) en un experimento de 70 días de duración de vermicompostaje en residuos de paja de setas, concluye que al final del ensayo se produce una pérdida del 14% en el número de adultas e Izyan *et al.* (2009) en un experimento de 70 días, también sobre residuos de paja de setas, obtiene una disminución del 12% de las lombrices iniciales de las que partió, que es prácticamente igual a la que se ve en este ensayo tras ese periodo de tiempo.

Los resultados muestran una cierta tendencia a que las dietas con mayores proporciones de cascarilla de arroz presentan menor número de lombrices adultas, aunque la ordenación de los tratamientos en el conteo final no responde exactamente a la proporción de cascarilla que incluyen. Es necesario considerar que el proceso de descomposición de la cascarilla de arroz requiere un tiempo mayor al de la duración de este ensayo (al final de la experiencia la cascarilla estaba prácticamente sin transformar), por lo que la cascarilla ha aportado pocos nutrientes a la alimentación de las lombrices y ello podría explicar los resultados observados. Se puede decir que en los 5 meses que duró la experiencia, el número de lombrices adultas iniciales no ha sido repuesto por las lombrices nacidas durante el experimento, a pesar de haber transcurrido el tiempo suficiente para que se hubiera producido.

Lombrices jóvenes

La experiencia se inició con 6 lombrices adultas en cada repetición, por lo que todas las lombrices jóvenes que se contabilizan han nacido durante el desarrollo del ensayo. El número de lombrices jóvenes y su evolución en los tratamientos a base de paja inalterada se presenta en la figura 4.

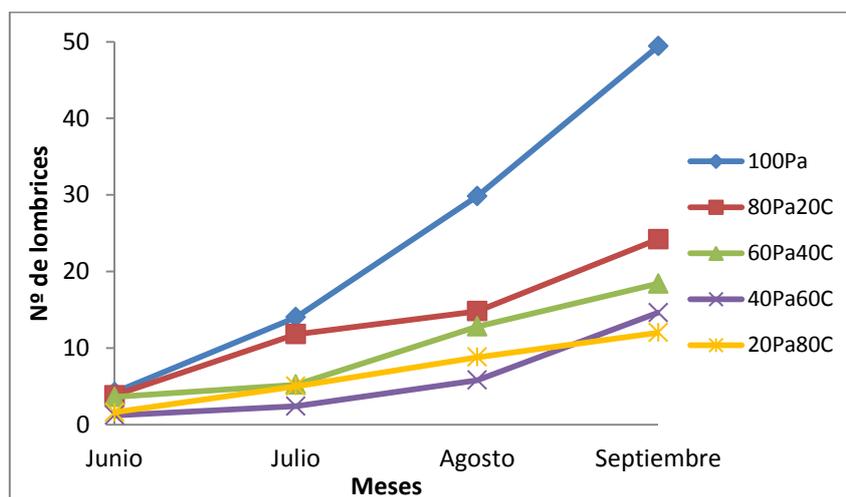


Figura 4. Número de lombrices jóvenes en tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.

Se observa un crecimiento del número de jóvenes en todos los tratamientos sobresaliendo el 100Pa del resto. A partir del mes de julio el comportamiento de cada tratamiento se hace más evidente. 100Pa destaca claramente como la dieta que permite

mantener un mayor número de lombrices jóvenes y así se mantiene hasta el final de la experiencia.

En el número de lombrices adultas la tendencia a que mayor proporción de cascarilla soportase un menor número de lombrices era clara, pero no ordenaba los tratamientos de forma sistemática. Sin embargo, en el número de lombrices jóvenes, se puede decir claramente que cuanto más cascarilla tiene un tratamiento, menor es el número de lombrices jóvenes que presenta. Los resultados muestran tendencias en todos los conteos realizados y son claros en el conteo del mes de septiembre. Varias razones podrían explicar este hecho: una mayor mortalidad de las lombrices jóvenes al no ser capaces de tomar el alimento disponible, menor tasa de reproducción de sus lombrices adultas y una menor viabilidad de los cocones provenientes de cópulas de lombrices adultas. Las lombrices tienen un sistema de autorregulación de su proceso reproductivo cuando sobreviven en condiciones desfavorables y los tratamientos de paja parece que muestran esta característica.

Número total de lombrices

Sumando el número de lombrices adultas y jóvenes se obtiene la variable número total de lombrices. Su evolución a lo largo de los meses del ensayo se presenta en la figura 5.

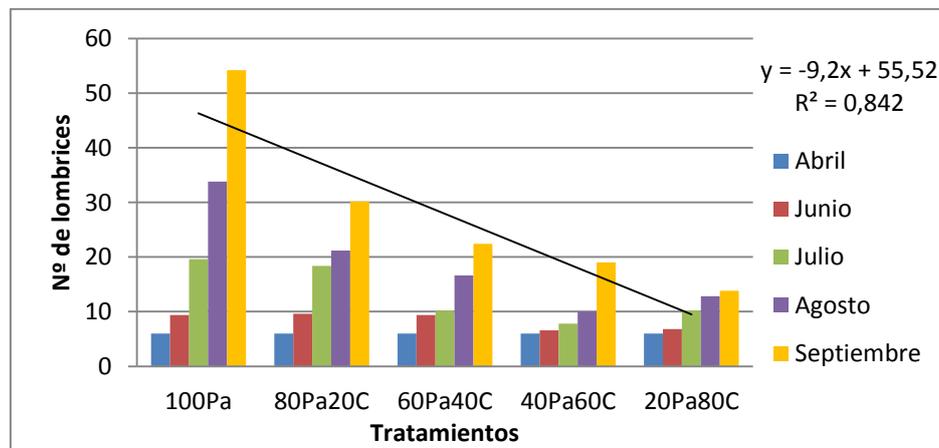


Figura 5. Número total de lombrices en los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz

Todos los tratamientos basados en la paja inalterada mostraron un número total de lombrices creciente a medida que avanzó la experiencia, independientemente del % de cascarilla que tuviera la dieta.

El número de lombrices adultas había mostrado una cierta tendencia a disminuir a medida que aumentaba el % de cascarilla de arroz en la dieta, que manifestó de forma mucho más clara el número de lombrices jóvenes. Para ver la relación que guarda el número total de lombrices con el porcentaje de cascarilla de arroz se ha realizado un análisis de regresión lineal. Los resultados muestran una regresión significativa, con un valor $R^2=0,842$. Por tanto, a mayor porcentaje de cascarilla de arroz, el número total de

lombrices es menor. Ello permite concluir que 100Pa es el mejor tratamiento para la producción de lombrices con estas mezclas. Por tanto, si se quiere buscar una alta producción de lombriz y se dispone de paja inalterada no es recomendable mezclarla con cascarilla de arroz.

Incremento del número total de lombrices

Con el objetivo de conocer el ritmo de crecimiento de las poblaciones totales de lombrices y poder estimar el tiempo necesario para multiplicar el número de lombrices alimentadas con las dietas de paja estudiadas, se han analizado los incrementos del número total de lombrices entre los sucesivos conteos y de forma global, es decir, desde el primer al último conteo. Los resultados se muestran en la figura 6.

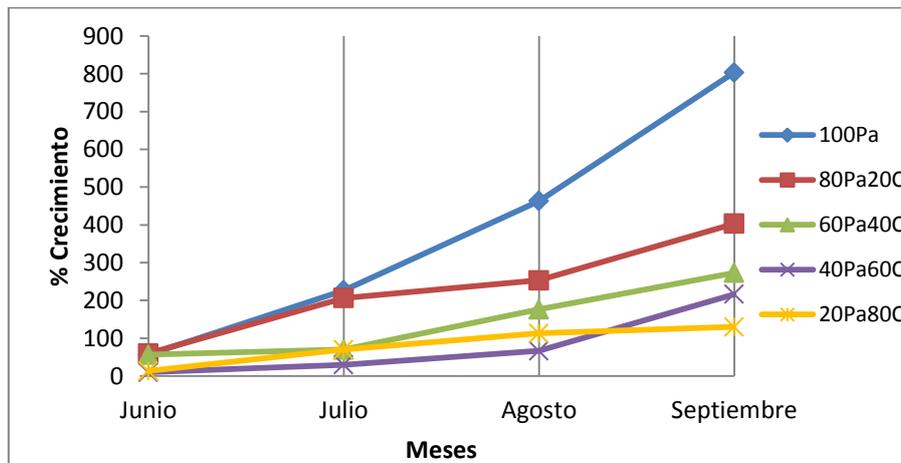


Figura 6. Porcentaje de crecimiento del número total de lombrices en tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.

100Pa y 80Pa20C permiten que la población de lombrices se duplique en algo más de dos meses (de abril a junio), mientras que 60Pa40C y 20Pa80C necesitan casi 4 meses para duplicar su población y 40Pa60C necesitó algo más de 4 meses. Se observa como a medida que aumenta el porcentaje de cascarilla de arroz en los tratamientos, el porcentaje de crecimiento de la población de lombrices disminuye, tanto en los conteos parciales como en el global. Los datos de los incrementos globales se sometieron a un análisis de varianza de una vía. Los resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Número de lombrices total e incremento desde el inicio del número de *Eisenia foetida* en los distintos tratamientos.

	100Pa	80Pa20C	60Pa40C	40Pa60C	20Pa80C
Número total	54,20 a*	30,20 b	22,40 bc	19 bc	13,80 c
Incremento n° total (%)	803,33 a	403,33 b	273,33 bc	216,67 bc	130 c

Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz

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

El tratamiento 100Pa actúa de forma diferente, teniendo diferencias significativas con los demás tratamientos. 60Pa40c y 40Pa60C, no tienen diferencias significativas entre ellos, ya que el comportamiento ha sido similar en cuanto a número de lombrices. El tratamiento 20Pa80C es la mezcla que peor se ha comportado en lo que respecta al número de lombrices y, aunque no presenta diferencias con otros que tienen menor proporción de cascarilla, sus números son claramente inferiores.

3.1.2. Evolución de la biomasa de lombrices en paja inalterada

Lombrices adultas

La figura 7 presenta la biomasa de lombrices adultas obtenida en cada uno de los conteos de los diferentes tratamientos de paja inalterada.

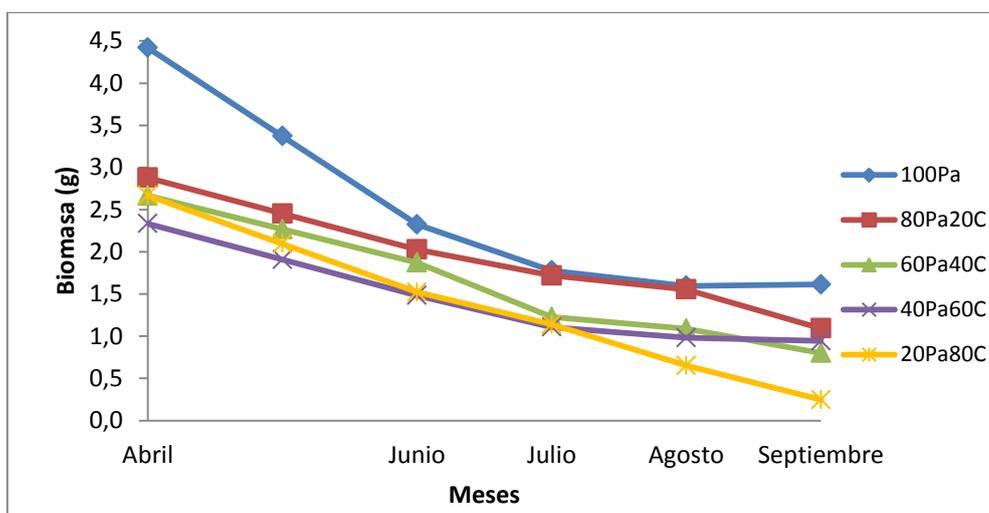


Figura 7. Evolución de la biomasa de adultas a lo largo del ensayo en los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.

Se observa una tendencia clara a la disminución de la biomasa de las lombrices adultas. En la Figura 1 se había comprobado que había disminución en el número de lombrices, pero del 20-30% en el peor de los casos, salvo el 20Pa80C. Sin embargo, la disminución en la biomasa superó en todos los tratamientos el 60% (llega a ser del 90% en el caso de 20Pa80C), lo que indica que las lombrices no encontraron en estas dietas el alimento que necesitan para mantener su biomasa. Es necesario recordar que la cascarilla de arroz no se descompuso y que la paja inalterada es un alimento difícilmente digerible por las lombrices, ya que no tienen dientes.

Con los datos de biomasa total de lombrices adultas (Figura 7) y número total de lombrices adultas (Figura 3) se puede calcular la biomasa media por lombriz adulta (Tabla 7), que fue de 0,35g para 100Pa y de 0,15g en el peor tratamiento, el 20Pa80C con los datos correspondientes al último conteo del mes de septiembre. Los valores de biomasa media obtenidos al inicio de este ensayo son inferiores al peso medio de 1g de *Eisenia foetida* (Schuldt, 2006).

Tabla 7. Biomasa media de lombrices adultas en tratamientos de paja inalterada.

Tto	Bio media adultas (g)
100Pa	0,35
80Pa20C	0,18
60Pa40C	0,20
40Pa60C	0,21
20Pa80C	0,15

Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz

Aunque el parámetro de biomasa media no ordena los tratamientos según el porcentaje de cascarilla de arroz de la mezcla, si que se observa una cierta tendencia en este sentido.

Biomasa total

La biomasa total de lombrices (obtenida de la suma de biomasa de jóvenes y adultas) se presenta en la figura 8.

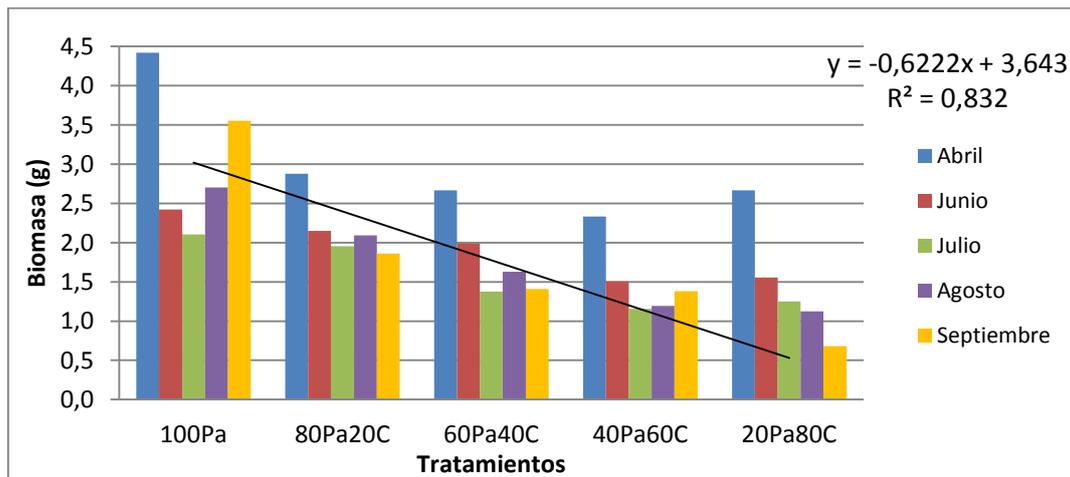


Figura 8. Biomasa total de lombrices en los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.

Todos los tratamientos mostraron una disminución acusada de la biomasa de lombrices desde el inicio al final del ensayo, aunque 100Pa y 40Pa60C mostraron una cierta recuperación en los últimos conteos. Siendo todas las lombrices adultas en el inicio de la experiencia, se puede afirmar que el incremento en lombrices jóvenes no compensa la pérdida de biomasa de las lombrices adultas. Ello se debe al escaso peso medio de las jóvenes, que tiene valores entre 0.02 y 0.04g en los tratamientos basados en la paja inalterada.

Existe una relación significativa entre la variable independiente % de cascarilla y la biomasa total de lombrices, expresada en la ecuación $y = -0,6222x + 3,643$, con un

valor de $R^2 = 0.832$. Por tanto, se puede afirmar que a medida que aumenta la proporción de cascarilla de arroz en la dieta, disminuye la biomasa total de lombrices.

Incremento de la biomasa total de lombrices

La figura 9 representa el incremento de la biomasa total de cada uno de los conteos respecto al valor de la biomasa inicial.

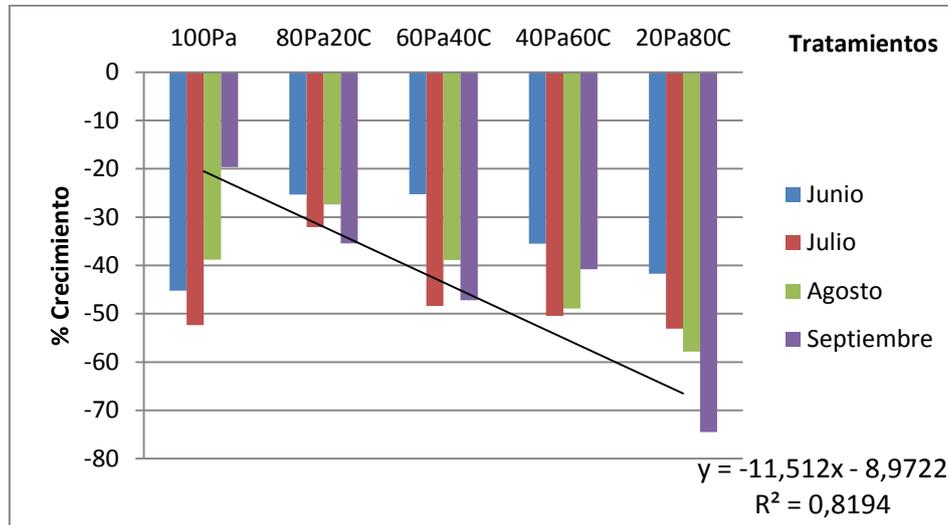


Figura 9. Porcentaje de crecimiento de la biomasa total de lombrices en mezclas de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.

Todos los tratamientos manifestaron un decrecimiento de la biomasa total de lombrices, acusado principalmente en el segundo mes de ensayo (se observa una disminución superior al 30% en todos los tratamientos, con tres de ellos mostrando disminuciones superiores al 50% en ese periodo). La disminución de la biomasa se va atenuando a partir del segundo conteo porque empiezan a nacer las lombrices jóvenes que compensan, en cierta medida, la disminución de peso de las adultas. .

El dato del mes de septiembre representa lo ocurrido en cada uno de los tratamientos respecto al valor de biomasa inicial. Estos valores se han sometido a un análisis de varianza de una vía. Los resultados se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Variaciones de la biomasa total en valores absolutos y relativos desde el inicio al final del ensayo

	100Pa	80Pa20C	60Pa40C	40Pa60C	20Pa80C
Biomasa final - inicial (g)	-0,87 a	-1,02 a	-1,26 ab	-0,95 a	-1,99 b
Incremento biomasa (%)	-19,10 a	-34,89 a	-47,29 ab	-40,87 a	-73,80 b

Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.

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

Todos los tratamientos de paja provocaron una disminución de la biomasa total de las lombrices. No se encuentran diferencias significativas en los tratamientos: 100Pa, 80Pa20C, 60Pa40C y 40Pa60C, mientras que 60Pa40C tiene un comportamiento similar a 20Pa80C. El tratamiento 100Pa, comparte con un ensayo de vermicompostaje realizado sobre residuos de paja de setas de Fataei *et al.* (2011) que el número de lombrices totales crece, sin embargo la biomasa llega a un punto que comienza a decrecer. Es el tratamiento con menor pérdida de biomasa y de decrecimiento, aunque sin diferencias significativas con los otros tres.

3.2. Estudio del número de lombrices y biomasa en paja peletizada

Se han analizado los mismos parámetros que los mostrados en la paja inalterada: lombrices adultas, jóvenes, total de lombrices, biomasa de adultas, biomasa total y los incrementos del número de lombrices total y biomasa total a lo largo de toda la duración del ensayo.

3.2.1. Evolución del número de lombrices en paja peletizada

Lombrices adultas

La figura 10 presenta la evolución del número de adultas en los tratamientos de paja peletizada.

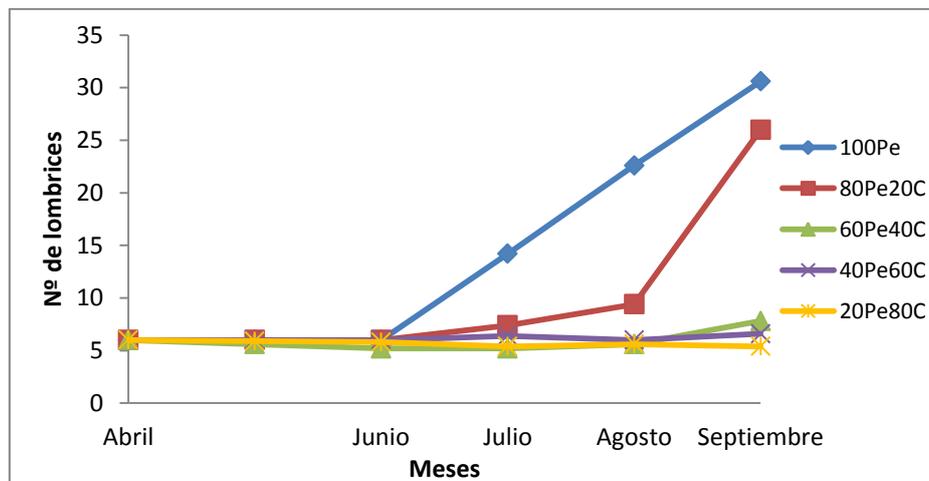


Figura 10. Número de lombrices adultas en los conteos de cada tratamiento de peletizada en los 150 días de duración del ensayo. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

En los dos primeros meses del ensayo, de abril a junio, el número de lombrices adultas no varió, ya que en dos meses no da tiempo a que aparezcan lombrices adultas como resultado de la cópula de las lombrices iniciales. A partir del mes de junio el número de lombrices adultas creció de forma importante en 100Pe y 80Pe20C, se mantuvo o tuvo ligero crecimiento en 60Pe40C y 40Pe60C y disminuyó en 20Pe80C. La figura 10 muestra que el crecimiento en número de lombrices adultas disminuyó a medida que aumentó el % de cascarilla de arroz, al igual que se ha visto en las variables ya presentadas en los tratamientos de paja inalterada.

Lombrices jóvenes

Se ha representado el número de lombrices jóvenes observadas en los distintos meses de conteo en los tratamientos de paja peletizada (Figura 11)

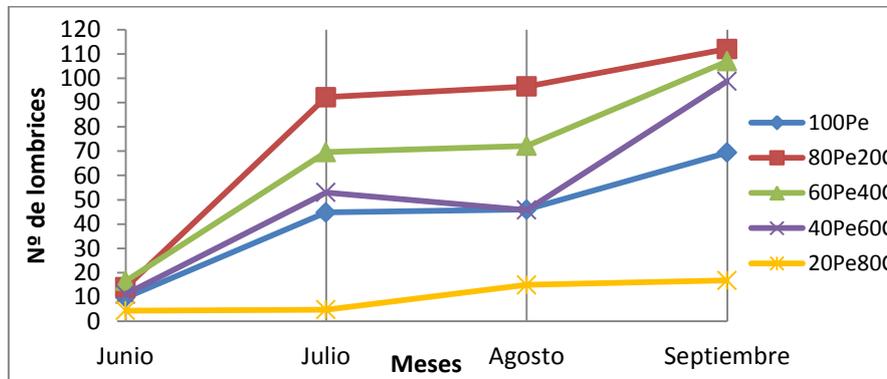


Figura 11. Número de lombrices jóvenes en los conteos en tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

Los tratamientos que mejor comportamiento muestran en esta variable son los que incorporan una cierta proporción de cascarilla de arroz (hasta el 60%), siendo la mezcla con un 20% de cascarilla la que tiene los mejores resultados. Ello permite afirmar que la adición de cascarilla de arroz a la dieta de paja peletizada facilita el nacimiento de un mayor número de lombrices, siempre y cuando no sea un porcentaje muy grande. Es necesario destacar que el material alimentario de la dieta basada en un 100% en paja peletizada se compacta fácilmente, por lo que posiblemente la mejora que se presenta en el número de lombrices jóvenes se deba a una mayor tasa de supervivencia de las lombrices nacidas durante el ensayo por la mejor aireación en la que se encuentran los cocones en este caso.

Número total de lombrices

De la suma del número de adultas y jóvenes se genera el número total de lombrices que se ha obtenido a lo largo de la experiencia. Los resultados se presentan en la figura 12.

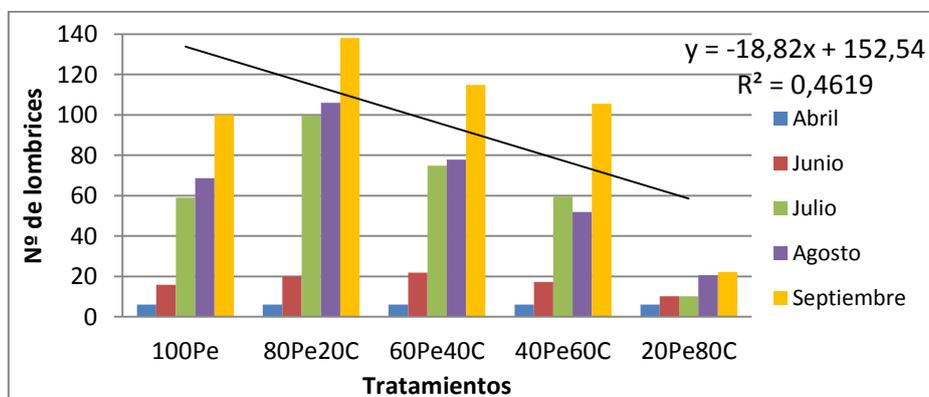


Figura 12. Número total de lombrices a lo largo del ensayo en tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

La tendencia general observada en todos los tratamientos es a mostrar un mayor número de lombrices a medida que avanza la experiencia, con unos altos incrementos en el número de lombrices entre los 60 y los 90 días transcurridos desde el inicio. El número de lombrices totales se relaciona linealmente con el porcentaje de cascarilla, pero el valor de R^2 disminuye notablemente respecto al obtenido en otros parámetros ($R^2=0,46$). Los porcentajes de 20-40% de cascarilla mejora la aparición de nuevas lombrices por una mejor aireación del sustrato ante los problemas de compactación que tiene el material peletizado. Sin embargo, altos porcentajes de cascarilla hace que el alimento disponible, en este caso la paja peletizada, esté en menor cantidad y la lombriz se reproduzca en menor medida.

Incremento del número total de lombrices

Se va a estudiar y comparar los datos de número e incremento del número total de lombrices para las distintas mezclas de paja peletizada (Tabla 9).

Tabla 9. Número total y porcentaje de crecimiento en las mezclas de tratamientos de peletizada

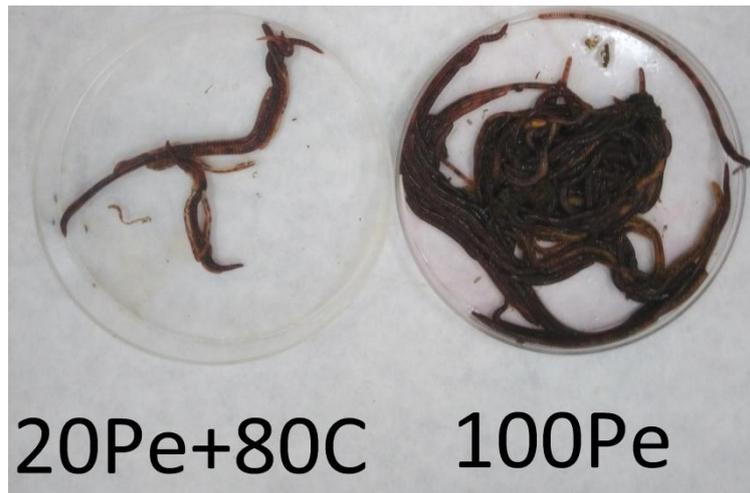
	100Pe	80Pe20C	60Pe40C	40Pe60C	20Pe80C
Número total	100 ab	138 b	114,80 b	105,40 ab	22,20 a
Incremento nº total (%)	1566,67 ab	2200 b	1813,33 b	1656,67 ab	270 a

Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

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

Los resultados muestran una alta tasa de multiplicación de las poblaciones de lombrices en 5 meses de ensayo, con incrementos que superan el 2000% en 80Pe20C. Los tratamientos 80Pe20C y 60Pe40C se comportan mejor que el resto, sin diferencias significativas entre ellos y compartiendo comportamiento con 100Pe y 40Pe60C. El tratamiento con peor comportamiento en esta variable es 20Pe80C. Aunque sean dietas diferentes, para dar una idea del alto crecimiento que tiene 80Pe20C, Durán y Henríquez (2009) en un ensayo a 90 días obtuvieron un crecimiento de la población inicial partiendo de 600 individuos de 2296% en estiércol. En nuestro trabajo el mejor tratamiento a los 90 días ya presenta un incremento de 1700%, lo que indica un alto porcentaje, considerando que el estiércol es mejor material para el vermicompostaje que la paja empleada en este trabajo. Por tanto, para conseguir un mayor número de lombrices en un periodo corto de tiempo, la mezcla óptima (disponiendo de estos materiales) es 80Pe20C.

Para ilustrar las diferencias que se han observado en el número de lombrices jóvenes entre los tratamientos estudiados, se presenta la fotografía 10 del conteo del mes de septiembre. En ella se aprecia un número de lombrices muy superior en el tratamiento 100Pe frente al tratamiento 20Pe80C.



Fotografía 10. Comparativa del número de lombrices totales en 100Pe y 20Pe80C tratamientos de peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

3.2.2. Estudio de la biomasa de lombrices en paja peletizada

Lombrices adultas

La figura 13 presenta la evolución de la biomasa de lombrices adultas en los tratamientos de paja peletizada.

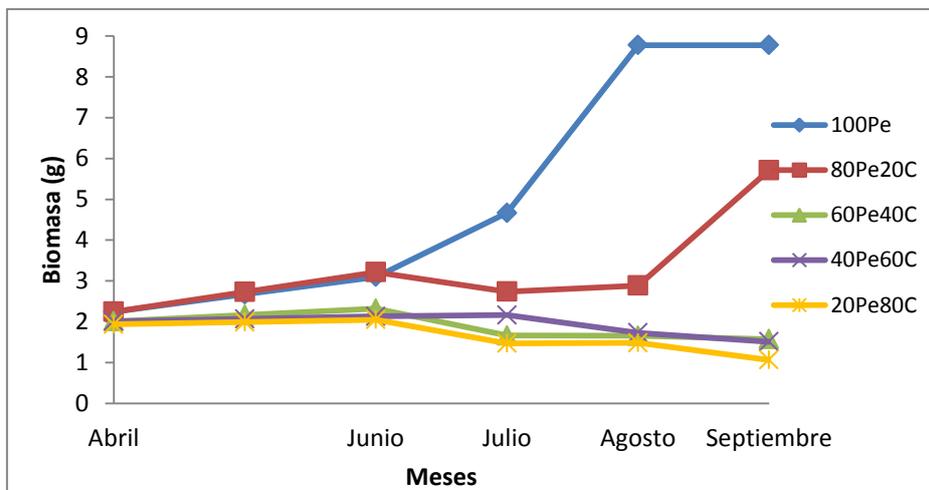


Figura 13. Biomasa de lombrices adultas en los tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

Hay un crecimiento de biomasa en los dos primeros meses del ensayo en todos los tratamientos. Este incremento recoge tanto el ocurrido en la biomasa de lombriz como el correspondiente a los restos de comida que las lombrices acumulan a lo largo de su intestino, ya que las lombrices se pesaron inicialmente habiendo pasado 24 horas en agua para limpiar el intestino. El tratamiento en el que más creció la biomasa fue el 100Pe, debido fundamentalmente al elevado número de lombrices adultas que presenta. El segundo mejor comportamiento lo presentó 80Pe20C. Los otros 3 tratamientos han mostrado un comportamiento muy similar entre ellos.

Biomasa total

Se va a representar la biomasa total en los tratamientos de paja peletizada, realizando un análisis de regresión lineal para ver la relación biomasa total- cascarilla de arroz (Figura 14).

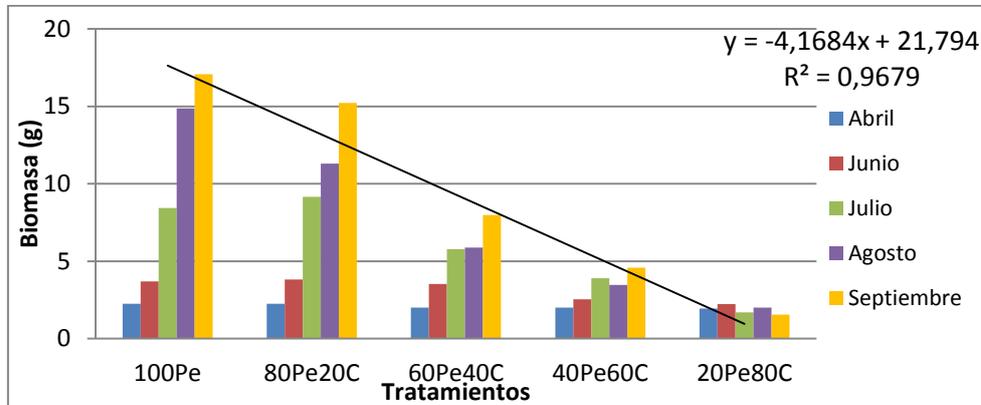


Figura 14. Biomasa total de lombrices en tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

Todos los tratamientos excepto 20Pe80C mostraron una clara tendencia al incremento de la biomasa total de lombrices a medida que transcurrían los 5 meses que duró la experiencia. Los resultados muestran una fuerte relación lineal entre la biomasa de lombrices y el porcentaje de cascarilla de arroz de las mezclas, cuantificado en la ecuación $y = -4,1684x + 21,794$, con un valor de $R^2 = 0,96789$. Que la biomasa total de las lombrices sea mayor en 100Pe que en el resto, sin ser el tratamiento que presenta el mayor número de lombrices, se explica por la mayor biomasa media de las lombrices (tanto jóvenes como adultas) que se alimentan de esta dieta (tabla 10). Posiblemente esto se deba a que el alimento en 100Pe está disponible en cualquier punto de la maceta, mientras que en los demás tratamientos está mezclado con la cascarilla, por lo que se dificulta su ingesta.

Tabla 10. Biomasa media jóvenes y adultas en tratamientos de paja peletizada al final del ensayo.

Tto	Bio media jóvenes (g)	Tto	Bio media adultas (g)
100Pe	0,12	100Pe	0,29
80Pe20C	0,08	80Pe20C	0,22
60Pe40C	0,06	60Pe40C	0,20
40Pe60C	0,03	40Pe60C	0,23
20Pe80C	0,03	20Pe80C	0,20

Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

Incremento de la biomasa total de lombrices

La figura 15 representa el incremento de la biomasa respecto al valor inicial en las mezclas con paja peletizada. Se ha realizado el análisis de regresión lineal para

conocer la relación existente entre el incremento de biomasa total y el porcentaje de cascarilla de arroz de los diferentes tratamientos de paja peletizada.

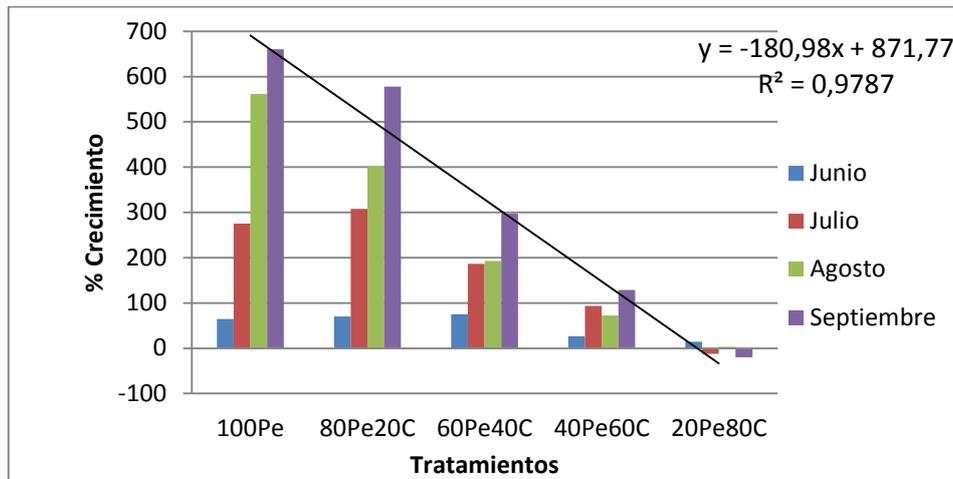


Figura 15. Porcentaje de crecimiento de la biomasa de los diferentes tratamientos de peletizada en los meses de conteo con respecto al valor de biomasa inicial. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

La tendencia general del comportamiento de la biomasa es al incremento en todos los meses del ensayo y en todos los tratamientos, a excepción de 20Pe80C. El crecimiento de la biomasa total también está fuertemente relacionado de forma inversa con el porcentaje de cascarilla de arroz, como indica el valor de $R^2=0,9787$, valor muy alto tratándose de un ensayo con seres vivos. El incremento de la biomasa viene a refrendar las figuras anteriormente estudiadas. En 100Pe aunque el número total de lombrices es inferior a 80Pe20C, 60Pe40C, 40Pe60C, la biomasa es mayor y por ello el porcentaje de crecimiento de la biomasa es superior a éstos. El único que presenta decrecimiento de la biomasa es 20Pe80C.

La tabla 11 compara la biomasa final e inicial y el incremento de la biomasa total de los tratamientos de paja peletizada.

Tabla 11. Biomasa final e inicial en valores absolutos y relativos, referidos al valor inicial en los tratamientos de paja peletizada.

	100Pe	80Pe20C	60Pe+40C	40Pe60C	20Pe80C
Biomasa final - inicial (g)	14,83 a	12,98 a	5,98 b	2,58 c	-0,38 d
Incremento biomasa (%)	660,59 a	581,93 a	301,02 b	129,62 c	-19,45 d

Pe: Peletizada; C: Cascarilla de arroz.

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

Los tratamientos con mayor incremento de la biomasa son 100Pe y 80Pe20C y ambos se comportan sin diferencias significativas entre ellos. Los siguientes tratamientos difieren significativamente entre ellos y a medida que aumenta el porcentaje de cascarilla de arroz, disminuyen los valores, llegando el tratamiento

20Pe80C a valores negativos (Fotografía 11). Ello indica que la proporción de cascarilla está limitando claramente el alimento que permite mantener la biomasa de lombrices existente. Una pequeña proporción de cascarilla permite mejorar las tasas de reproducción, pero aumentar esta proporción disminuye notablemente el alimento disponible y merma la biomasa.



Fotografía 11. Comparativa de la biomasa de 20Pe80C y 100Pe. La primera con gran cantidad de cascarilla de arroz y la segunda sin cascarilla. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

3.3. Producción de cocones

En los muestreos mensuales se han separado los cocones observados en las macetas, contabilizando sólo los cocones viables. Sabiendo el número de cocones de cada muestreo y las lombrices jóvenes >2cm, se estima el número de lombrices/cocón.

3.3.1. Estudio de la producción de cocones en paja inalterada

En la figura 16 se presenta el número de cocones observados en los tratamientos de paja inalterada de cada muestreo, agrupándolos para obtener el número de cocones total del ensayo.

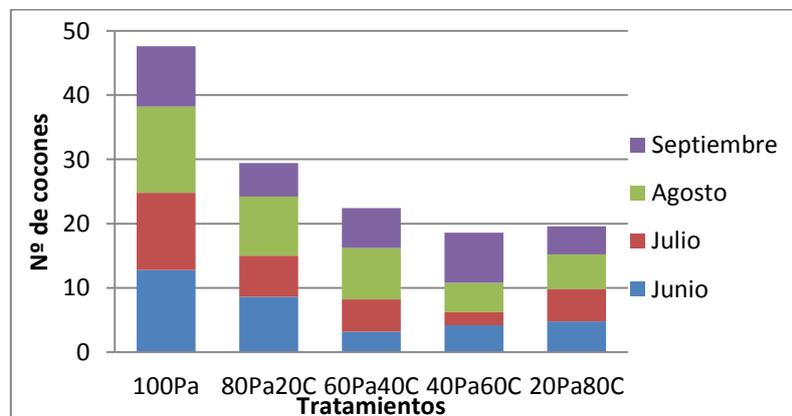


Figura 16. Número de cocones en los tratamientos de paja inalterada. Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.

El número de cocones presentó una disminución a medida que incrementó el porcentaje de cascarilla que tiene la dieta. A partir de estos resultados y sabiendo que todas las lombrices jóvenes presentes en el ensayo han nacido como resultado de las cópulas de las 6 lombrices iniciales, se ha estimado el número de lombrices/cocón (Tabla 12).

Tabla 12. Número de lombrices/cocón en tratamientos de paja inalterada.

Tto	Julio	Agosto	Septiembre	Media
100Pa	1,09	2,48	3,69	2,42
80Pa20C	1,37	2,31	2,63	2,11
60Pa40C	1,63	2,56	2,30	2,16
40Pa60C	0,57	2,90	3,17	2,22
20Pa80C	1,04	1,76	2,22	1,67

Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz.

El número estimado de lombrices/cocón es inferior al real. Es necesario tener en cuenta que no se han contado más que las lombrices jóvenes que superaban los 2 cm de longitud. El hecho de no haber contado las lombrices inferiores puede reducir considerablemente los números mostrados en la tabla 12. Contar lombrices menores a 2 cm. puede implicar grandes errores en los muestreos, puesto que: es fácil que algunas lombrices no se vean a simple vista (son transparentes en el momento de nacer) y su peso es inferior al error de las balanzas empleadas (<0.01 g). Por tanto, se cometerían errores tanto en el número de lombrices como en su biomasa. Los datos de la tabla 12 sólo pretenden hacer una mínima aproximación al cálculo de lombrices/cocón para estimar qué valores pueden obtenerse en las condiciones del ensayo.

3.3.2. Estudio de la producción de cocones en paja peletizada

Puede observarse en la figura 17 el número de cocones totales y en cada muestreo de los tratamientos de paja peletizada.

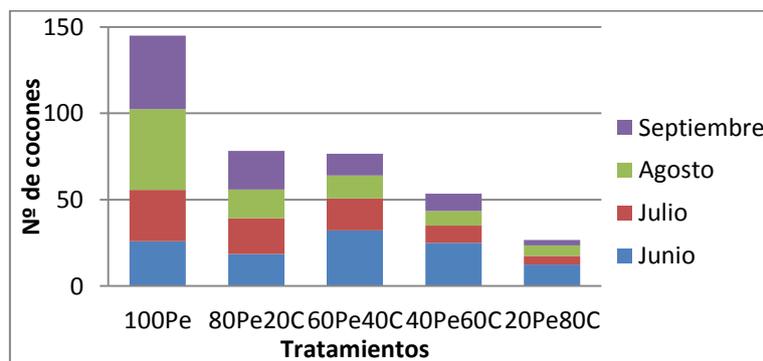


Figura 17. Número de cocones en los tratamientos de paja peletizada. Pe: Paja peletizada; C: Cascarilla de arroz.

El número de cocones disminuye a medida que aumenta el porcentaje de cascarilla de arroz. 100Pe fue el tratamiento que presentó el mayor número de cocones y

sin embargo no fue el que tuvo el mayor número de lombrices (Figura 12). El cálculo estimado del número de lombrices/cocón se presenta en la tabla 13.

Tabla 13. Número de lombrices/cocón en los tratamientos de paja peletizada.

Tto	Julio	Agosto	Septiembre	Media
100Pe	1,72	1,55	1,48	1,59
80Pe20C	4,96	4,69	6,75	5,46
60Pe40C	2,16	3,92	7,99	4,69
40Pe60C	2,12	4,58	11,76	6,15
20Pe80C	0,39	3,00	2,71	2,03

Pe: Peletizada; C: Cascarilla de arroz

Todos los tratamientos han tenido un número mayor de lombrices/cocón que 100Pe, lo que podría justificarse en el comportamiento de la dieta a base de pellet puro, sin mezclar. El apelmazamiento que sufre este material podría comprometer la viabilidad de los cocones, por lo que al recibir las dietas una cierta proporción de cascarilla de arroz, se mejoran las condiciones físicas del sustrato.

3.4. Características físico-químicas de los vermicomposts obtenidos

En la tabla 14 se muestran los resultados de la caracterización química del vermicompost 100Pa, seleccionado por tratarse del tratamiento que mejor se ha comportado en el proceso de vermicompostaje de paja inalterada, En su análisis se han incluido parámetros básicos de fertilidad (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica total, nitrógeno total y fósforo total), macronutrientes asimilables (fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio) y micronutrientes asimilables (hierro, manganeso, cinc y cobre).

Tabla 14. Características químicas del vermicompost 100Pa del tratamiento de paja inalterada.

Parámetro	100Pa
pH	7,44
CE (mS/cm)	5,03
M.O. (%)	52,2
N Total (%)	1,55
P Total (%)	0,14
C/N	19,53
P (%)	0,00
K (%)	1,35
Ca (%)	4,33
Mg (%)	0,30
Na (%)	0,16
Fe (mg/Kg)	12,04
Mn (mg/Kg)	28,48
Zn (mg/Kg)	11,12
Cu (mg/Kg)	1,78

Pa: Paja inalterada; C: Cascarilla de arroz

De los resultados obtenidos, se puede decir que el vermicompost de paja inalterada tiene un valor de pH prácticamente neutro (7,44), similar al obtenido por Pushpa y Manonmani (2008) en un ensayo sobre residuo de paja de setas, que obtuvieron un valor de pH de 7,01. Es un producto con una alta salinidad, que puede deberse a la adición de carbonato cálcico y nitrato cálcico, entre otros productos, en el proceso de producción de *Pleurotus ostreatus*, y al no ser homogéneo el residuo inicial de paja, ha podido influir en los resultados analíticos. Se trata de un material orgánico, ya que su contenido de materia orgánica total (52,20%, sobre muestra seca) está por encima del límite mínimo establecido por la legislación. El contenido de nitrógeno total (1,55%) supera el valor obtenido por Abbiramy y Ross (2012) en una experiencia de vermicompostaje sobre residuos de paja de setas, siendo este de 1,01%- Lo mismo ocurre con los contenidos de potasio, calcio, hierro, manganeso, cinc y cobre que superan los obtenidos por Abbiramy y Ross (2012) en dicho ensayo. Los valores de fósforo y magnesio son similares en ambas experiencias.

La tabla 15 muestra los resultados de la caracterización química de los vermicomposts 100Pe, 80Pe20C y 60Pe40C, seleccionados por ser los tratamientos de paja peletizada que mejor se ha comportado en el proceso de vermicompostaje (fotografía 12). Como en el caso anterior, en los análisis se incluyen parámetros básicos de fertilidad (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica total, nitrógeno total, fósforo total y relación C/N), macronutrientes disponibles (fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio) y micronutrientes disponibles (hierro, manganeso, cinc y cobre).

Tabla 15. Características químicas de los vermicomposts 100Pe, 80Pe20C y 60Pe40C de paja peletizada

Parámetro	100Pe	80Pe20C	60Pe40C
pH	8,66	8,46	8,46
CE (mS/cm)	2,00	0,92	0,68
M.O. (%)	74,32	76,52	76,08
N Total (%)	1,15	0,88	1,02
P Total (%)	0,12	0,11	0,10
C/N	37,49	50,44	43,26
P (%)	0,02	0,01	0,02
K (%)	1,41	0,88	0,57
Ca (%)	2,33	1,92	1,64
Mg (%)	0,21	0,20	0,20
Na (%)	0,24	0,19	0,12
Fe (mg/Kg)	24,98	24,38	21,54
Mn (mg/Kg)	22,1	21,84	34,94
Zn (mg/Kg)	13,08	17,21	20,51
Cu (mg/Kg)	3,54	4,58	5,77

Pe: Peletizada; C: Cascarilla de arroz

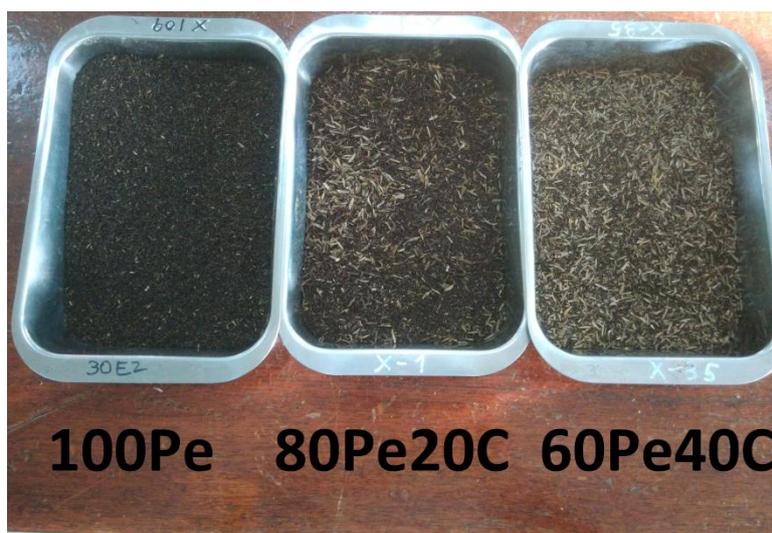
Como muestra la tabla 15, los tres productos tienen valores de pH similares, básicos y próximos a 8,5. Dichos valores están dentro del rango establecido como recomendable para compost (pH= 6-9) (Edwards *et al.*, 2015), aunque en el límite superior. La adición de cascarilla de arroz no modifica este parámetro.

Los valores de conductividad eléctrica son diferentes entre los tratamientos con y sin cascarilla de arroz. Claramente, la mayor salinidad se encuentra en el tratamiento sin cascarilla (100Pe) con un valor de 2 mS/cm (medido en relación 1:5). Por tanto la cascarilla no aporta salinidad y actúa como factor de dilución de este parámetro.

Los contenidos de materia orgánica total, nitrógeno total y fósforo total son similares entre las tres muestras, con y sin cascarilla. Teniendo, en todos los casos, un contenido muy alto en materia orgánica total (en torno al 75%, sobre muestra seca), más del doble del límite mínimo que establece la legislación. El valor de nitrógeno total es similar en todos los tratamientos, estando próximo al 1%.

Con respecto a los macronutrientes asimilables, los contenidos de fósforo y magnesio son similares entre las muestras, mientras que los niveles de potasio, calcio y sodio son superiores en el tratamiento sin cascarilla, apreciándose claramente el factor de dilución que introduce la cascarilla en la concentración de estos nutrientes. A más cascarilla, gradiente descendente.

En cuanto a los micronutrientes disponibles, la cascarilla aporta cinc y cobre, observándose un aumento del contenido de estos nutrientes a medida que se incrementa el aporte de cascarilla.



Fotografía 12. Producto final de los vermicomposts de 100Pe, 80Pe20C y 60Pe40C.

CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES

En relación a los resultados obtenidos pueden extraerse las siguientes conclusiones de este ensayo:

1. Los tratamientos de paja peletizada mostraron un mejor comportamiento que los de paja inalterada, debido a ser un alimento más fácilmente asimilable por las lombrices del género *Eisenia*, que carecen de dientes.
2. La biomasa total de lombrices y el porcentaje de cascarilla de arroz presente en los tratamientos tienen una alta correlación lineal inversa en paja inalterada y en paja peletizada, con valores de R^2 de 83% y 97%, respectivamente.
3. La biomasa total de lombriz disminuye en todos los tratamientos, a medida que el porcentaje de cascarilla de arroz aumenta. Con esto se puede decir que la cascarilla de arroz no es tomada como alimento por las lombrices mientras que dispongan de paja.
4. El tratamiento de paja inalterada sin cascarilla es el mejor tratamiento para la producción de lombrices con estas mezclas. Por tanto, si se quiere buscar una alta producción de lombriz y se dispone de paja inalterada no es recomendable mezclarla con cascarilla de arroz.
5. Si el objetivo es el incremento de la población de *Eisenia foetida*, y se dispone de paja peletizada, se recomienda bajos porcentajes de cascarilla de arroz, en torno al 20%, sin embargo la biomasa total será mayor en mezclas sin cascarilla.
6. El número de cocones disminuye en todos los tratamientos a medida que aumenta el porcentaje de cascarilla de arroz. Sin embargo, el número de lombrices por cocón no guarda esa relación, pudiendo deberse a no tener en cuenta las lombrices jóvenes <2cm, con el error de cálculo que esto supondría por su bajo peso.
7. La cascarilla de arroz no es tomada como alimento por las lombrices si disponen de paja y su presencia limita el alimento y el espacio disponible en el recipiente, si se quiere realizar un ensayo con estos materiales es necesario la reducción del porcentaje de cascarilla en las mezclas y la disponibilidad de contenedores de mayor tamaño.
8. Los vermicomposts obtenidos a partir de paja inalterada y de paja peletizada superan el porcentaje de materia orgánica total que establece la legislación. El vermicompost de paja inalterada es prácticamente neutro y los vermicompost de paja peletizada son básicos.

BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abbiramy, K. S. y Ross, P. R. (2012). Reutilization of spent waste of Mushroom Industry for Vermiculture. *International Journal of Research in Biological Sciences*, 2(3), 120-123.
- Acosta, C. M., Solís, O., Villegas, O. G. y Cardoso, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*, 37(1), 127-139.
- 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.
- Australian Standard. (1993). Potting mixes. Standard Association of Australia. AS3743.
- Bouché, M. B. (1977). Strategies lombriciennes. En U. Lohm y T. Persson (Eds.). *Soil organisms as components of ecosystems* (pp. 122-132). Estocolmo: Ecological Bulletins.
- Bueno, M. (2015). *Elabora tu propio lombricompost: El mejor humus para tu huerta, macetas y jardín*. Navarra: La Fertilidad de la Tierra.
- Domínguez, J. y Edwards, C. A. (1997). Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia Andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 743-746.
- Domínguez, J. (2004). State of the art and new perspectives on vermicomposting research. En C. A. Edwards (Ed.) *Earthworm ecology* (pp. 401-424). Boca Ratón: CRC Press.
- Domínguez, J. y 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. (2009). Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 275-281.
- Edwards, C. A. (1988). Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. En C. A. Edwards y E. F. Neuhauser (Eds.) *Earthworms in waste and environmental management* (pp. 21-31). Holanda: SPB Academic Publ. Co.
- Edwards, C. A., Arancon, N. Q. y Sherman, R. L. (2015). *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes and Environmental Management*. Boca Ratón: CRC Press.
- Fataei, E., Hashemimajd, K., Zakeri, F. y Jeddi, E. A. (2011). An Experimental Study of Vermicomposting with Earthworm (*Eisenia foetida*) Growth in Edible Mushrooms Wastes. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 5, 574-577.
- Fernández-Gómez, M. J., Nogales, R., Insam, H., Romero, E. y Goberna, M. (2010a). Continuous-feeding vermicomposting as a recycling management method to revalue tomato-fruit wastes from greenhouse crops. *Waste Manag.*, 30, 2461-2468.
- Fernández-Gómez, M. J., Romero, E. y Nogales, R. (2010b). Feasibility of vermicomposting for vegetable greenhouse waste recycling. *Bioresource Technol.*, 101, 9654-9660.
- Fernández-Gómez, M. J., Díaz-Raviña, M., Romero, E. y Nogales, R. (2013). Recycling of environmentally problematic plant wastes generated from greenhouse tomato crops through vermicomposting. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 10, 697-708.
- Ferruzzi, C. (1986). *Manual de lombricultura*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Gunadi, B., Blount, C. y Edwards, C. A. (2002). The growth and fecundity of *Eisenia foetida* (Savigny) in cattle solids pre-composted for different periods. *Pedobiologia*, 46, 15-23.
- Izyan, N. N., Jamaludin, A. A. y Mahmood, N. N. (2009). Potential of Spent Mushroom substrate in vermicomposting. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 3(2), 87-90.
- Lavelle, P. y Spain, A. (2001). *Soil ecology*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- M.A.P.A.M.A. (2016). Anuario de estadística agraria 2016. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- Marsh, L., Subler, S., Mishra, S. y Marini, M. (2005). Suitability of aquaculture effluent solids mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting. *Bioresource Technol.*, 96, 413-418.
- Melgar, R., Benítez, E. y Nogales, R. (2009). Bioconversion of wastes from olive oil industries by vermicomposting process using the epigeic earthworm *Eisenia andrei*. *J. Environ. Sci. Health Part B*, 44, 488-495.

- Moya, M. J. y Checa, J. G. (2004). Reciclado y utilización de los sustratos del cultivo de champiñón y de setas. En Patronato de Desarrollo Provincial, Diputación Provincial de Cuenca.
- Nogales, R., Romero, E. y Fernández, M. J. (2014). *De residuo a recurso: Vermicompostaje. Procesos, productos y aplicaciones*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Orozco, F. H., Cegarra, J., Trujillo, L. M. y Roig, A. (1996). Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: Effects on C and N contents and the availability of nutrients. *Biol. Fert. Soils.*, 22, 162-166.
- Pardo, J., Perona, M. A. y Pardo, A. (2008). Materiales y técnicas para la elaboración del cultivo de *Pleurotus spp.* En Patronato de Desarrollo Provincial, Diputación Provincial de Cuenca.
- Pushpa, S. M. y Manonmani, H. K. (2008). Recycling of spent mushroom substrate to vermicompost. *Environmental Science an Indian Journal*, 3(2), 212-216.
- Recalde, L. (2008). *Proyecto empresarial de cultivo de lombrices californianas Eisenia foetida*. Recuperado de: <http://www.gestiopolis.com/proyecto-empresarial-cultivo-de-lombrices-californianas-eisenia-foetida>.
- Reynolds, J. W. y Wetzel, M. J. (2010). *Nomenclatura Oligochaetologica. Supplementum Quartum. A catalogue of names, descriptions and type specimens of the Oligochaeta*. Chicago: Illinois Natural History Survey Special Publication.
- Sailila, N., Bakar, A. A., Mahmood, N. Z., Teixeira, J. A., Abdullah, N. y Jamaludin, A. A. (2010). Nutrient Elements of Different Agricultural Wastes from Vermicomposting Activity. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 4(1), 155-158.
- Schuldt, M. (2006). *Lombricultura: teoría y práctica*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Schuldt, M. (2007). Reconversión de residuos biodegradables mediante lombricultura (Recomendaciones prácticas). *REDVET*, 8(9), 14pp. Recuperado de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090907/090713.pdf>
- Shahmansouri, M. R., Pourmoghadas, H., Parvaresh, A. R. y Alidadi, H. (2005). Heavy metals bioaccumulation by Iranian and Australian earthworms (*Eisenia fetida*) in the sewage sludge vermicomposting. *Iranian Journal of Enviromental Health Science & Engineering*, 2(1), 28-32.
- Valverde, A., Bienvenido, S. y Monteagudo, J. P. (2007). Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia et Technica*, 37, 255-260.
- Venter, J. M. y Reinecke, A. J. (1988). The life cycle of the compost worm *Eisenia foetida*. En M. Schuldt (Ed.) *Lombricultura: teoría y práctica* (pp. 50-58). Madrid: Mundi-Prensa.