

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**

**Master Universitario Oficial en
Ingeniería Agronómica**



**ESTUDIO DEL VERMICOMPOSTAJE DE
COMPOST DE RESIDUOS ORGANICOS
DE DISTINTA NATURALEZA**

TRABAJO FIN DE MASTER

SEPTIEMBRE-2016

AUTOR: Justin Camiletti Morales

DIRECTOR/ES: Raúl Moral Herrero

Aurelia Pérez Espinosa

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Título: Estudio del vermicompostaje de compost de distinta naturaleza

Title: Study vermicomposting compost different nature

Modalidad (proyecto/experimental): Experimental

Type (project/research): Research

Autor/Author: Justin Camiletti Morales

Director/es/Advisor: Raúl Moral Herrero; Aurelia Pérez Espinosa

Convocatoria: Septiembre

Month and year: September - 2016

Número de referencias bibliográficas/number of references:23

Número de tablas/Number of tables: 18

Número de figuras/Number of figures: 17

Número de planos/Number of maps: 0

Palabras clave (5 palabras): residuos orgánicos, compost, vermicompost, *Eisenia foetida*, salinidad

Key words (5 words): organic wastes, compost, vermicompost, *Eisenia foetida*, salinity

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Título: ESTUDIO DEL VERMICOMPOSTAJE DE COMPOST DE RESIDUOS ORGANICOS DE DISTINTA NATURALEZA

RESUMEN: En este trabajo, se desarrolla un proceso de post-tratamiento de compost elaborados con ingredientes de distinta naturaleza y proporciones (restos de poda de jardín, ganaderos, lodos de depuradora y lodos de la industria agroalimentaria) mediante vermicompostaje en cajas y empleando la lombriz roja de California (*Eisenia foetida*). Se realizó la caracterización analítica mediante distintos parámetros, físicos, químicos y biológicos tanto en los materiales de partida (9 compost) como en los productos obtenidos tras el proceso de vermicompostaje (9 vermicompost), para evaluar la calidad de los compost y sus respectivos vermicomposts e intentar sacar conclusiones sobre la viabilidad de uso de este proceso como método de post-tratamiento tras el compostaje.

Title: VERMICOMPOSTING STUDY OF ORGANIC WASTE COMPOST OF DIFFERENT NATURE

ABSTRACT: In this paper, a process of post-treatment of compost made with ingredients of different nature and proportions (prunings garden, livestock, sewage sludge and sludge from the food industry) by vermicomposting in boxes develops and using bloodworm California (*Eissenia foetida*). Analytical characterization was performed using various parameters, physical, chemical and biological both starting materials (9 compost) and the products obtained after the process of vermicomposting (9 vermicompost) to evaluate the quality

of compost and their respective vermicompost and try to draw conclusions about the feasibility of using this process as a method of post-treatment after composting.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	7
1.1. Gestión de residuos.....	7
1.2. Objetivos.....	9
2. INTRODUCCION	11
2.1. COMPOSTAJE	11
2.1.1 Definición y etapas del proceso.....	11
2.1.2 Condiciones para el proceso de compostaje.....	13
2.1.3 Definición de compost.....	15
2.1.4 Legislación respecto al empleo agrícola de compost.....	16
2.2. VERMICOMPOSTAJE	20
2.2.1. Definición de Vermicompostaje.....	20
2.2.2. Etapas del proceso de Vermicompostaje.....	21
2.2.3. Organismo en el proceso.....	23
2.2.4. Factores que regulan e influyen en el proceso y que se deben controlar.....	25
2.2.5. Legislación respecto al empleo agrícola de vermicompost.....	26
3. MATERIAL Y MÉTODOS	29
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL	29
3.2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL	30
3.2.1. Dispositivo de vermicompostaje utilizado.....	30
3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	31
3.3.1. Preparación del compost.....	31
3.3.2. Seguimiento del proceso de compostaje.....	31
3.3.3. Muestreo del material, volteos y otras operaciones realizadas.....	31
3.4. MÉTODOS ANALITICOS	32
3.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. EVOLUCIÓN DE LA FRACCIÓN HIDROSOLUBLE PH Y CE	36
4.2. EVOLUCION DE LA MATERIA ORGÁNICA Y DEL CARBONO ORGANICO TOTAL	39
4.3. EVOLUCION DEL NITROGENO TOTAL	41
4.4. RELACIÓN CARBONO ORGÁNICO TOTAL - NITRÓGENO TOTAL (C/N)	43
4.5 CONTENIDO DE FÓSFORO, POTASIO Y SODIO TOTAL	45

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

4.6. PARÁMETROS INDICATIVOS DE LA CALIDAD DEL COMPOST.....	49
5. CONCLUSIONES.....	53
6. BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXOS.....	59
ÍNDICE DE TABLAS.....	59
ÍNDICE DE FIGURAS.....	60





1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1. Gestión de residuos

La producción de residuos orgánicos se ha ido incrementando en las últimas décadas y las diferentes reglamentaciones y directrices vigentes, tienen como finalidad reducir los impactos ambientales de la producción y gestión de los residuos y minimizar las fuentes de contaminación orgánica para el medio ambiente, teniendo en cuenta tres principios básicos: impedir que se generen residuos, recuperar los residuos generados y la eliminación de éstos de forma segura.

Se trata de sustituir una economía lineal basada en producir, consumir y tirar, por una **economía circular** en la que se reincorporen al proceso los materiales que contienen los residuos para la producción de nuevos productos o materias primas. En este planteamiento, el reciclaje o la valorización material de los residuos, juegan un papel primordial. La Hoja de Ruta citada establece como objetivos intermedios para los residuos que en el 2020: se haya reducido la generación *per capita* de los residuos, que el reciclado y la reutilización sean opciones económicamente atractivas para los operadores, que se hayan desarrollado mercados funcionales para las materias primas secundarias, que esté garantizado el reciclado de alta calidad, que la recuperación de energía se limite a los materiales no reciclables, que se haya eliminado prácticamente el depósito de residuos en vertederos y que la legislación sobre residuos se aplique en su totalidad.



Figura 1. Economía circular. Fuente: MAGRAMA, PEMAR 2016-2022. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2016. Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Entre los objetivos y las obligaciones específicas contenidas en la normativa destacan dos aspectos sobre los residuos orgánicos:

- La jerarquía de cinco niveles (prevención, preparación para la reutilización, reciclado, otras formas de valorización y eliminación) debe aplicarse como principio rector en la legislación y política sobre prevención y gestión de residuos.
- Promoción de medidas para impulsar la recogida separada de biorresiduos para su compostaje y digestión anaerobia y para promover el uso ambientalmente seguro del compost producido en sector de agricultura, jardinería y de las áreas degradadas.

Además, nuestros suelos se caracterizan por ser deficientes en materia orgánica, lo cual los hace vulnerables frente a la degradación. Con la aplicación de residuos orgánicos al suelo se puede ralentizar su degradación y aumentar el contenido de materia orgánica de los mismos.

La creciente generación de materiales de origen muy diverso en diferentes actividades, que tienen consideración de residuos o subproductos y de naturaleza fundamentalmente orgánica, como son aquellos de todos los sectores de actividad, si bien en el sector primario (agricultura y ganadería) y en las actividades de transformación y también los residuos urbanos como los lodos procedentes de aguas residuales (EDAR) y restos vegetales del mantenimiento de parques y jardines municipales, es donde se está produciendo las mayores cantidades.

El *compostaje* de residuos orgánicos como alternativa para el reciclado y aprovechamiento de los mismos, es interesante no solo porque reduce el volumen de estos residuos sino también porque el compost obtenido puede utilizarse con fines agrícolas, recuperándose y aprovechándose así la materia orgánica y los nutrientes contenidos en dichos residuos.

En esta misma línea también el *vermicompostaje* se presenta como tratamiento de biotransformación adecuado para la obtención de materiales de aplicación agrícola y en la última década, hay ensayos que proponen el uso de tratamientos combinados compostaje y vermicompostaje para la mejora/estudio de la calidad de producto final obtenido (Su Lin Lim y col., 2016; Villlar y col., 2016) y para la comparación de los tratamientos (Fornes y col., 2013; Fornes y col., 2012).

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

1.2. OBJETIVOS

En este trabajo de investigación nos planteamos como objetivo principal, el estudio de la viabilidad de desarrollo de un proceso de post-tratamiento de compost elaborados con ingredientes de distinta naturaleza y proporciones (restos de poda de jardín, residuos agrícolas y ganaderos, lodos de depuradora y lodos de la industria agroalimentaria) mediante vermicompostaje en cajas, empleando la lombriz roja de California (*Eisenia foetida*). Se realizó la caracterización en los productos obtenidos tras el proceso de vermicompostaje (9 vermicompost), para evaluar la calidad de los compost y sus respectivos vermicompost e intentar sacar conclusiones sobre la viabilidad de uso de este proceso como método de post-tratamiento tras el compostaje.

Para ello, se establecen los siguientes objetivos concretos:

- 1) Caracterización analítica en los materiales de partida (9 compost) mediante parámetros, físicos, químicos y biológicos.
- 2) Caracterización analítica de los vermicompost obtenidos mediante parámetros físicos, químicos y biológicos.
- 3) Evaluar la calidad de los compost y sus respectivos vermicompost e intentar sacar conclusiones sobre la viabilidad de uso de este proceso como método de post-tratamiento analizando los cambios producidos en el material entre ambos procesos.



2. INTRODUCCIÓN

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

2. INTRODUCCIÓN

2.1. COMPOSTAJE

El compostaje se define como un proceso biooxidativo controlado, que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido por la acción de los microorganismos. Implica el paso a través de una etapa termofílica y una producción temporal de fitotoxinas, generándose como resultado de la biodegradación dióxido de carbono, agua, minerales y un producto final, llamado compost, con una materia orgánica estabilizada, libre de compuestos fitotóxicos y patógenos y con ciertas características húmicas (Zuconi y de Bertoldi, 1987). Los principales objetivos del proceso de compostaje son: la estabilización de la materia orgánica y la higienización, por la eliminación de patógenos y de malas hierbas, así como la reducción del peso y volumen de los materiales a compostar, de modo que el uso agrícola del producto final obtenido, comporte efectos beneficiosos para el suelo y los cultivos (Moreno-Casco y col. 2008).

2.1.1 Definición y etapas del proceso

El compostaje es un proceso biooxidativo controlado, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termofílica y una producción temporal de fitotoxinas, dando al final como productos de los procesos de degradación, dióxido de carbono, agua y minerales, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos (Costa y col., 1991).

El hecho de que sea biooxidativo exige una condición biológica, que hace al compostaje diferente tanto de los procesos físicos y químicos como de todos aquellos que no se realicen de forma aerobia. Además, debe distinguirse el compostaje de todos aquellos procesos naturales sin control alguno, los cuales suelen desembocar siempre en anaerobiosis más o menos acusadas.

La conversión de la materia orgánica inicial, biodegradable, al estado de materia orgánica humificada (humus), realizada durante el compostaje, es un proceso microbiológico influido por la naturaleza de los organismos presentes, como bacterias, hongos y actinomicetos, fundamentalmente. Durante el proceso de compostaje tiene lugar una sucesión de predominio de diferentes microorganismos; en función de la influencia de determinados factores, como la naturaleza química del sustrato que está siendo digerido con mayor intensidad, el contenido de humedad, la disponibilidad de

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

oxígeno, la temperatura, la relación C/N y el pH, ciertos microorganismos se multiplican más rápidamente que otros, predominando en el medio de fermentación.

El proceso de compostaje conduce a la producción de dióxido de carbono, agua y minerales, y, por último, a una materia orgánica estabilizada.

El compostaje debe, por tanto, tener como resultado un producto estabilizado, con un alto valor fertilizante para ser empleado en agricultura; además, el producto ha de ser fácilmente manipulado y almacenado, y su empleo directo en el suelo no debe provocar efectos adversos.

La evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje marca las diferentes etapas que nos determinan el grado evolutivo del material compostado. Las etapas que componen este proceso en condiciones aerobias y el tipo de microorganismos que actúan son las siguientes (Chen e Inbar, 1993):

- **Etapas mesófila.** Al comienzo del proceso, la masa está a temperatura ambiente. A medida que la población indígena se multiplica, la temperatura aumenta rápidamente. Es una etapa de marcado carácter mesófilo, en la cual, entre los productos que se forman, destacan los ácidos orgánicos de cadena corta. La acidificación lleva consigo el descenso del valor de pH. La temperatura se eleva hasta alcanzar los 40°C.
- **Etapas termófila.** Alcanzados los 40°C, la actividad mesofílica cesa y se entra en una segunda etapa termófila, en la que se distinguen dos fases:

Una fase inicial, en la cual la temperatura se eleva progresivamente. La acidez del medio evoluciona, apreciándose un aumento del pH, consecuencia directa de la presencia de ión amonio como producto de la degradación. Hay una destrucción de huevos y larvas de insectos, lombrices y semillas. Comienza también la destrucción de bacterias patógenas.

En una segunda fase, más lenta, hay un incremento mayor de la temperatura, pudiéndose alcanzar la cota superior alrededor de los 75°C. Destrucción de bacterias patógenas (paratífus), salmonellas y bacilos intestinales. Desaparición de hongos y bacterias termofílicas. El aumento de la temperatura puede provocar pérdidas de nitrógeno en forma amoniacal. El pH desciende ligeramente.

- **Etapas de enfriamiento.** La masa se comienza a enfriar debido a que los materiales fácilmente degradables se han consumido, la reacción se ralentiza y el calor generado es menor que el que se pierde. En esta fase la temperatura desciende y se recuperan las condiciones térmicas precedentes. La liberación de calor es suave

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

y la temperatura desciende hasta alcanzar la del ambiente. El pH no sufre modificación apreciable.

- **Etapas de maduración.** Tiene lugar a temperatura ambiente. En esta etapa se producen complejas reacciones secundarias de condensación y de polimerización, las cuales dan lugar al humus como producto final. La etapa de maduración precisa de un período de tiempo más extenso que las etapas anteriores. Se detecta la presencia de sustancias dotadas de actividad antibiótica y la desaparición de gérmenes patógenos. La pérdida de masa y la emisión de calor son escasas.

2.1.2. Condiciones del proceso de compostaje

Dado que el compostaje es un proceso biooxidativo que depende fundamentalmente de la actividad microbiana, es de suma importancia controlar diferentes factores, que influyen en mayor o menor grado, para conseguir la optimización de esta actividad. Estos factores están directamente relacionados con la naturaleza del sustrato o bien, con las condiciones de desarrollo del mismo. Tanto unos como otros aparecen tan íntimamente ligados entre sí, que es difícil hacer una consideración individualizada, desprovista de conexión entre ellos.

La naturaleza del sustrato sobre el que actúan los microorganismos es otro factor relevante. Los principales residuos que se destinan a la producción de compost son de origen agrícola, ganadero, urbano (basuras y lodos), industrial y forestal. Las características físicas y químicas de cada uno de ellos dependen de su procedencia. Las principales características físicas, físico-químicas y químicas del sustrato que influyen en el compostaje son:

- a) El tamaño de las partículas, pues cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano, más rápido y completo será la reacción (mayor actividad química por unidad de masa). La experiencia demuestra que el tamaño ha de situarse entre 1 y 5 cm de diámetro (Biddlestone y Gray, 1991).
- b) La porosidad del sustrato: en el caso de sustratos poco porosos, como lodos, purines, etc., es conveniente mezclarlos con otros materiales que confieran estructura apropiada para la aireación y la capacidad de retención hídrica, y que además serán preferentemente inertes desde el punto de vista químico, con el fin de que no presenten reacciones simultáneas (Costa y col., 1991).
- c) La relación superficie/volumen de las partículas tiene una influencia directa en la forma y velocidad de la degradación. La relación aire/agua en los intersticios de las

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

partículas es igualmente importante; agua y oxígeno son indispensables para la actividad microbiológica y cuando la proporción es menor del nivel crítico, el metabolismo microbiano y la respiración disminuyen y se paralizan (Costa y col., 1991).

d) Relación C/N: Los valores más recomendables de esta relación para un rápido y eficiente compostaje están comprendidos entre 25 y 35 (Saña y Soliva, 1987; Costa y col., 1991). Si esta relación tiene valores menores se producen pérdidas de nitrógeno en forma de amonio y si por el contrario, la relación inicial es elevada, el proceso se prolonga siendo necesaria la adición de nitrógeno para rebajarla.

e) Contenido de nutrientes: Los microorganismos del proceso de compostaje precisan elementos esenciales para su nutrición, desarrollo y reproducción. Entre estos están algunos micronutrientes (boro, manganeso, cinc, cobre, hierro, molibdeno y cobalto) aunque en poca cantidad, pues pueden llegar a ser tóxicos a concentraciones altas. Estos elementos desempeñan un importante papel en la síntesis de enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intracelulares y extracelular (Biddlestone y Gray, 1991).

f) pH: en general, se pueden compostar materiales dentro de un amplio rango de valores de pH (3-11). No obstante, los comprendidos entre 5,5 y 8 son los que se consideran óptimos, ya que en general los hongos toleran un amplio margen de pH (5-8) mientras que, las bacterias tienen un margen más estrecho (pH 6-7,5) (Costa y col., 1991).

Condiciones ambientales: en este apartado se consideran aquellos parámetros cuya correcta evolución es necesaria para que se desarrolle adecuadamente el proceso de compostaje.

a) Temperatura: este parámetro varía durante el proceso de compostaje marcando las diferentes etapas que nos determinan el grado evolutivo del material compostado. Desde un punto de vista termodinámico, la biodegradación se desarrolla a través de un proceso global exoenergético, constituido por diferentes etapas (mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración). Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55°C, ya que a temperaturas más altas, los microorganismos más interesantes para el proceso mueren o se desactivan por encontrarse esporulados. Por otra parte, la generación de temperaturas demasiado altas implica una mayor mineralización que conduce a la obtención de productos finales (Saña y Soliva, 1987).

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

b) pH: la acidez inicial es la propia de los residuos a compostar y posteriormente desciende, para a continuación alcanzarse y superarse la neutralidad. En la etapa inicial del compostaje los microorganismos actúan sobre la materia orgánica más lábil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos que provoca un descenso en el pH inicial. Posteriormente, debido a un aumento en la concentración del ión amonio el pH aumenta. Conviene tener en cuenta que aumentos grandes de pH acompañados de elevaciones fuertes de temperatura pueden suponer pérdida de nitrógeno en forma de amoniaco (Costa y col., 1991).

c) Aireación: es imprescindible asegurar la presencia de oxígeno para el desarrollo del proceso de compostaje, pero siempre dentro de unos límites, ya que un exceso de aireación podría provocar el enfriamiento de la masa con la consiguiente disminución de la actividad microbiana. El nivel de oxígeno óptimo está dentro del intervalo 10-18% (Biddlestone y Gray, 1991). El oxígeno no sólo es necesario para la respiración de los microorganismos y el metabolismo aerobio, sino también para oxidar algunas moléculas orgánicas presentes en la masa a compostar.

d) Humedad: los microorganismos necesitan cierta cantidad de agua para su metabolismo; ésta constituye también un medio de transporte de los nutrientes solubles y de los productos de reacción. El nivel óptimo de humedad está situado entre un 40 y un 60%. La actividad microbiana se reduce considerablemente cuando el contenido de humedad cae por debajo del 30%. Por debajo del 12% cesa, prácticamente, toda la actividad biológica, siendo el proceso extremadamente lento (Saña y Soliva, 1987).

2.1.3. Definición de compost

Podemos definir al compost como el producto que resulta del proceso de compostaje y maduración, constituido por una materia orgánica estabilizada semejante al humus, con poco parecido con la original, puesto que se habrá degradado dando partículas más finas y oscuras. Será un producto inocuo y libre de sustancias fitotóxicas, cuya aplicación al suelo no provocará daños a las plantas, y que permitirá su almacenamiento sin posteriores tratamientos ni alteraciones (Costa y col., 1991).

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

2.1.4. Legislación respecto al empleo agrícola de compost

El compost, independientemente de la fuente inicial de residuos y materia orgánica a compostar, presenta diversos usos desde el punto de vista agrario. Se utiliza como fuente de enmienda orgánica de los suelos cultivados y suelos disgregados, así como para el mantenimiento del nivel húmico, recuperación de suelos improductivos, y como sustrato hortícola para el cultivo de plantas.

En la **Tabla 1**, se recoge la legislación actual sobre productos fertilizantes, **Real Decreto 506/2013** que regula las enmiendas orgánicas elaboradas con residuos orgánicos y la legislación sobre sustratos de cultivo **Real Decreto 865/2010**, así como la propuesta de la Comisión Europea (2014) sobre el uso de compost y digeridos, recogida en el informe final sobre el “Fin de la Condición de Residuo” (FdR) para residuos biodegradables que han sido sometidos a un tratamiento biológico de compostaje o digestión.

Tabla 1. Legislación y directrices referentes al uso de compost en agricultura.

Disposiciones Nacionales
<ul style="list-style-type: none">▶ Real Decreto 506/2013 de 28 de junio, sobre productos fertilizantes .▶ Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.▶ Real Decreto 1039/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo.
Directrices
<ul style="list-style-type: none">▶ Comisión Europea. Informe final sobre el “Fin de la Condición de Residuo” (FdR) (Comisión Europea, 2014).

El **Real Decreto 506/2013** de 28 de junio sobre productos fertilizantes, clasifica dentro del “*Grupo 6. Enmiendas Orgánicas*” el **compost** producido a partir de residuos biodegradables, como “producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas, de materiales orgánicos biodegradables del Anexo IV, recogidos separadamente”. La Orden AAA/2564/2015, de 27 de noviembre, modifica los anexos I, II, III, IV y VI del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

En la **Tabla 2** se exponen los requisitos mínimos exigidos para considerar a un producto compost según el real Decreto 506/2013. Los compost se clasificaran atendiendo a su contenido en metales como A, B o C, añadiéndose: “*contenido en metales pesados inferior a los límites autorizados para esta clasificación*”. Además,

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

deberá declararse el contenido en cobre (Cu) y zinc (Zn) cuando sobrepasen los límites máximos correspondientes a la clase A (70 y 200 mg/kg de materia seca, respectivamente).

Tabla 2. Requisitos mínimos exigidos para considerar a un producto compost según el real Decreto 506/2013.

Parámetro	Real Decreto 506/2013		
	Clase A	Clase B	Clase C
Mat. Orgánica total (%)	35		
Humedad máxima (%)	40		
C/N	< 20		
N inorgánico máximo (% N total)	15		
Metales pesados (mg/kg m.s.):	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0,7	2	3
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)	nd	nd	nd
Cobre	70	300	400
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Contaminantes orgánicos			
Polifenoles (% p/p)	0,8		
Furfural(% p/p)	0,05		
Microorganismos			
Salmonella spp	Ausentes en 25 g de compost		
<i>E. coli</i>	<1000 MPN/g		
Semillas de malas hierbas	-		
Partículas (%)	90 (25mm)		
Impurezas (%)	No puede contener		
Gravas y piedras (%)	No puede contener		

nd: no detectable según método oficial; MPN: número más probable; **Clase A:** Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna A. **Clase B:** Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna B. **Clase C:** Productos fertilizantes cuyo contenido en metales pesados no superan ninguno de ellos los valores de la columna C.

Sin perjuicio de las limitaciones establecidas en esta normativa, los productos fertilizantes elaborados con componentes de origen orgánico se aplicarán al suelo siguiendo los códigos de buenas prácticas agrarias. Los productos de la *clase C* no podrán aplicarse sobre suelos agrícolas en dosis superiores a cinco toneladas de materia seca por ha y año. En zonas de especial protección, particularmente a efectos del cumplimiento del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano (BOE 45, 2003) y el Real Decreto 261/1996 relativo a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en agricultura, las comunidades autónomas modificarán, en su caso, la cantidad anterior. El Real Decreto 261/1996 limita la incorporación de N en 170 kg por hectárea y año, pudiendo alcanzar los 210 kg durante los primeros programas de actuación, pudiendo las Comunidades Autónomas establecer cantidades distintas en base a ciertas consideraciones.

Respecto a la valorización del compost como sustrato de cultivo, en el **Real Decreto 865/2010** de 2 de julio, modificado por el Real Decreto 1039/2012, de 6 de julio, sobre sustratos de cultivo, se definen y tipifican todos aquellos productos denominados como sustratos, con el fin de garantizar que los que se ponen en el mercado sean agrónomicamente eficaces y que eviten posibles efectos nocivos en el agua, el suelo, la flora, la fauna y el ser humano. Las especificaciones y las declaraciones obligatorias y opcionales establecidas en el anexo I del RD 865/2010 para compost de residuos orgánicos que se utilicen como sustrato de cultivo o como componente de los sustratos de cultivo se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Características de los compost como sustratos de cultivo o componente de los sustratos de cultivo, según el RD 865/2010.

Denominación tipo de producto	Descripción	Especificaciones	Declaraciones obligatorias	Declaraciones opcionales
Compost	Producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), de materiales orgánicos biodegradables del Anexo V, bajo condiciones controladas	- Materia orgánica sobre materia seca > 20% (m/m)	-Principales componentes (más del 10% (v/v) ordenados en orden decreciente de porcentaje. - Materia orgánica sobre materia seca. - Conductividad eléctrica, CE. - pH - Cantidad en volumen	- Densidad aparente seca. - Volumen de aire - Volumen de agua 1, 5 y 10 KPa - Materia seca - Espacio poroso total - Granulometría

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

En el Anexo VI del RD 865/2010 se establecen asimismo los límites máximos de microorganismos y metales pesados en los sustratos de cultivo, **Tablas 4 y 5** respectivamente. Para los microorganismos se establecen dos limitaciones:

- a) La materia prima transformada, lista para ser usada como ingrediente de productos orgánicos de origen animal, debe ser sometida a un proceso de higienización que garantice que su carga microbiana no supera los valores máximos establecidos en el Reglamento (CE) n.º 1774/2002.
- b) En los sustratos de cultivo de origen orgánico, se acreditará que no superan los niveles máximos de microorganismos, incluidos en el anexo VI de dicho RD y expresados en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Niveles máximos de microorganismos en sustratos de cultivo de origen orgánico, anexo VI RD 865/2010.

Microorganismo	Nivel máximo
Salmonella	Ausente en 25 g de producto elaborado
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ausente en 1 g de materia bruta (únicamente para cultivos cuya producción se consuma en crudo).
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado.
Enterococcaceae	Entre 10^4 y 10^5 número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado.
<i>Clostridium perfringens</i>	Entre 10^2 y 10^3 número más probable (NMP) por gramo de producto elaborado.

En cuanto a los metales pesados los límites máximos que se establecen son aplicables a todos los grupos de productos (orgánicos, minerales, de síntesis mineral u orgánica, preformados y de mezcla), con alguna salvedad para el caso de las lanas minerales que se indica en la **Tabla 5**. Según el contenido en metales de los sustratos se establecen dos clases: A (sin restricción de uso) y B (no aplicables en cultivos de plantas para consumo humano).

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Tabla 5. Niveles máximos de metales pesados en sustratos de cultivo, anexo VI RD 865/2010.

Parámetro (mg/kg)	Clase A [¶]	Clase B
Cadmio	0,7	2
Cobre*	70	300
Níquel*	25	90
Plomo	45	150
Zinc	200	500
Mercurio	0,4	1,5
Cromo (total)*	70	250
Cromo (VI)	0,5	0,5

¶A: sin restricción de uso, B: no aplicable en cultivos de plantas para consumo humano. En el caso de las lanas minerales, no se aplicarán los límites en Cr, Cu y Ni indicados en la tabla, puesto que estudios de distintos organismos internacionales reflejan que estos elementos no están disponibles para el suelo ni las plantas en las condiciones de empleo prescritas*

2.2. VERMICOMPOSTAJE

2.2.1. Definición de vermicompostaje

El vermicompostaje, en sus diferentes acepciones, es un proceso biotecnológico de bajo coste que permite biodegradar y estabilizar residuos orgánicos bajo condiciones aerobias y mesófilas mediante la acción de ciertas especies de lombrices de tierra capaces de alimentarse del residuo a la vez que aceleran su degradación microbiana. Así en este proceso se aprovecha la capacidad detritívora de las lombrices que ingieren, trituran y digieren el residuo orgánico descomponiéndolo mediante la acción de sus enzimas digestivas y la microflora aeróbica y anaeróbica presente en el interior de su intestino (Edwards, 1988). El vermicompostaje, que es el proceso por el cual las lombrices son utilizadas con el fin de convertir residuos orgánicos en vermicompost, o también llamado humus de lombriz, un producto orgánico caracterizado por su valor agrícola y/o como enmendante de suelos.

En líneas generales, las diferentes especies de lombrices involucradas en el proceso son capaces de ingerir al día cantidades de residuos equivalentes al 50%-100% de su propio peso, dependiendo del tipo de residuo y la especie de lombriz empleada (Edwards y Bohlen, 1996; Garg y col; 2008, Riggle Y Holmes, 1994). La digestión del residuo orgánico por la lombriz conlleva su alteración física, ya que este es fragmentado, reduciéndose su volumen hasta aproximadamente el 50% (Sinha y

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Col; 2010b), a la vez que aumenta su relación superficie-volumen; lo cual facilita la colonización microbiana del residuo excretado (Domínguez 2004). El paso del residuo a través del intestino de la lombriz también altera su composición química de forma que se incrementa la concentración de nutrientes fácilmente asimilables para los microorganismos, los cuales proliferan rápidamente en el residuo recién excretado y terminan de completar su degradación (Partahsarathi y Ranganathan, 1999). Además el mucus segregado por la lombriz y sus excreciones estimulan a proliferación de microorganismo degradadores de materia orgánica en el residuo durante el proceso de vermicompostaje, pues estas sustancias son una fuente de compuestos de fácil asimilación para los microorganismos (Domínguez y col., 2010) igualmente el movimiento de las lombrices a través del residuo del que se alimentan promueve su aireación estimulando su biooxidación microbiana (Domínguez, 2004). De este modo, gracias a la acción conjunta de lombrices y microorganismos, el residuo orgánico es degradado y parcialmente mineralizado haciéndose más estable y maduro e enriqueciéndose en sustancias similares a ácidos húmicos, así como en nutrientes vegetales.

Existen diferentes definiciones de vermicompots o humus de lombriz. El **humus de lombriz** es un fertilizante orgánico 100% natural, que se obtiene de la transformación de residuos orgánicos por medio de la Lombriz Roja de California (*Eisenia foetida*). Tiene este producto unas propiedades específicas que lo convierten en un fertilizante extraordinario.

Otra definición más rigurosa es la que aparece en el RD de Fertilizantes como *producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas* (Real Decreto 506/2013 de Fertilizantes, BOE nº 164 de 10 de julio del 2013).

2.2.2 Etapas del proceso de Vermicompostaje

Aunque, en general, se considera el vermicompostaje como el proceso que tiene lugar desde que se inoculan las lombrices en el residuo orgánico hasta su separación, un proceso de vermicompostaje, especialmente si se desarrolla a escala piloto y comercial debe incluir, a semejanza del proceso de compostaje, dos etapas más, con objeto, de favorecer la supervivencia de las lombrices y obtener un vermicompost sólido de calidad y otros productos finales que valorizan el proceso. Por ello, actualmente se considera que el proceso de vermicompostaje consta de tres etapas en base a la actividad de las lombrices.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

- **Etapa de acondicionamiento:** tiene por objeto preparar a los residuos orgánicos para que sean adecuados como alimento para las lombrices, y si es posible, aumentar su biomasa microbiana. El preacondicionamiento es opcional ya que muchos residuos orgánicos pueden ser ingeridos por las lombrices sin un pretratamiento previo. Entre otros tratamientos se incluye el lavado, macerado, mezcla de varios residuos orgánicos, precompostaje (obligatorio si se van a utilizar residuos orgánicos de procedencia urbana que puedan contener microorganismos patógenos para humanos).
- **Etapa de vermicompostaje:** Es el periodo de tiempo entre la inoculación y la retirada de ellas del sustrato orgánico. Su duración es variable dependiendo del tipo y las características de los residuos, la densidad de lombrices inoculadas y otros factores tales como temperatura, humedad del residuo.
- **Etapa de maduración:** Una vez retirada las lombrices es aconsejable, e incluso imprescindible, dejar madurar el sustrato orgánico para aumentar su estabilidad, madurez, calidad y reducir su contenido hídrico hasta límites aceptables para su comercialización. Esta etapa que es de naturaleza pasiva, no se le suele adicionar agua y en ella solo intervienen microorganismos que finalizan la descomposición del residuo orgánico procesado en la etapa anterior.

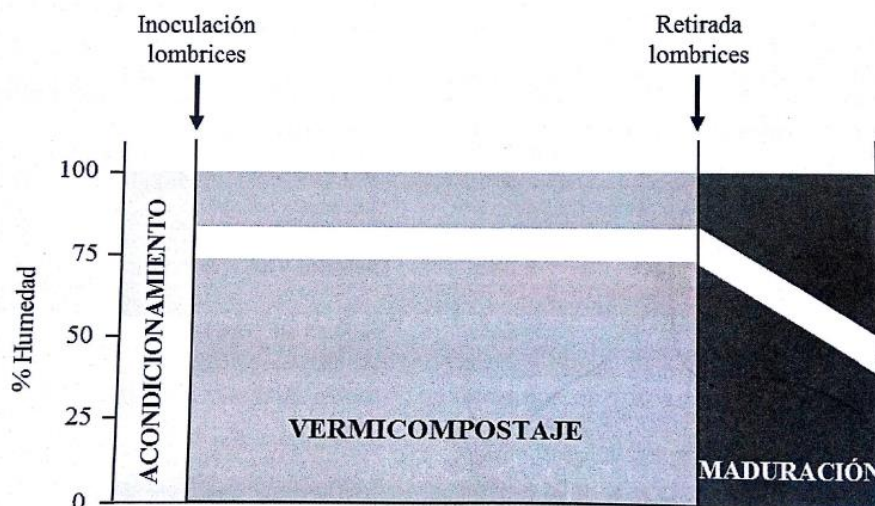


Figura 2. Etapas del Vermicompostaje

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

2.2.3 Organismos del proceso

Las especies de lombrices más utilizadas son *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*, ya que son especies que tienen la capacidad de colonizar residuos orgánicos, toleran amplios intervalos de temperatura, humedad y son resistentes y fáciles de manejar. También presentan una elevada tasa reproductora que les permite colonizar diferentes ambientes ricos en restos orgánicos y su longevidad es muy superior a la de las lombrices comunes (Nogales, 2005).

Entre las dos especies, ambas presentan muchas características comunes:

- ▶ Longitud corporal media: 60-120 mm y diámetro de 3-6 mm.
- ▶ Número medio de segmentos varía entre 80 y 120.
- ▶ Clitelo (área glandular desarrollada en la madurez sexual) ocupa entre 6 y 8 segmentos, y los tubérculos pubertarios (formaciones glandulares) se extienden a lo largo del borde ventral del clitelo en tres segmentos
- ▶ Las cápsulas, que contiene los huevos, tienen diámetro 2,3- 4,4 mm, su longitud varía entre 2,4 y 5,2 mm.
- ▶ Longevidad de hasta 15 años, si las condiciones son favorables.
- ▶ Maduran sexualmente a los dos meses de vida.



Figura 3. Lombriz roja (*Eisenia foetida*)

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

El acoplamiento se produce cada 7 días (o más) y se obtienen 1 o 2 cápsulas por cada lombriz. Si las condiciones son óptimas, después de 14-21 días de incubación eclosiona la cápsula y nacen entre 2 y 4 lombrices. Las nuevas lombrices alcanzan su madurez sexual entre los 40 y 70 días, dependiendo de las condiciones del medio.



Figura 4. Acoplamiento de Lombriz (*Eisenia foetida*)



Figura 5. Pie de cría y huevecillos, (Gobierno del Estado de México, 2004)

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

2.2.4. Factores que regulan e influyen en el proceso y que se deben controlar

Estas son los factores más importantes que intervienen en el proceso de vermicompostaje, según distintos autores:

- Humedad: necesitan una humedad superior al 70%, encontrándose su óptimo sobre 85% (Domínguez y Edwards, 1997).
- Temperatura: entre 10 y 35°C, aunque el óptimo sobre 25°C.
- Aireación: el material orgánico debe tener unas condiciones de aireación óptimas para las lombrices y el proceso. En ocasiones, un exceso de agua o la compactación del material pueden disminuir la aireación.
- Densidad de población: si es muy elevada conllevaría una competencia entre los individuos que ralentizaría el proceso (Domínguez, 1996).
- Concentración de sales en el material orgánico: puede afectar a la supervivencia de las lombrices y al desarrollo del proceso. Trabajos realizados con *E. foetida* y *E. andrei*, determinan que conductividades del extracto de saturación superiores a 8 dS m⁻¹ son letales (Edwards y col, 1988).
- pH: el proceso es óptimo en valores próximos a valores neutros.
- Concentración de metales pesados en los materiales orgánicos: pueden alterar el metabolismo de las lombrices y la mayoría de metales vuelven al medio por lo que quedaría afectada la calidad del vermicompost producido.
- El nivel de nitrógeno es muy importante para la colonización de los residuos, pero la concentración de amonio no debe superar los 0,5 mg/g. Por todo esto, las características fisicoquímicas y químicas de los residuos a procesar tienen una importancia preponderante en la capacidad de colonización y desarrollo de las lombrices. En general, resulta necesario destacar el nivel de nutrientes en los residuos y, en particular, los contenidos de nitrógeno y fósforo necesarios para el crecimiento y desarrollo de la población de lombrices.

En la siguiente tabla se muestra cuáles son los parámetros de control y su frecuencia en el proceso de vermicompostaje, así como la información adicional que nos aporta respecto al proceso.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Tabla 6. Parámetros aconsejables a monitorizar durante un proceso de vermicompostaje incluyendo su frecuencia de control de la información que aportan al proceso.

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

2.2.5. Legislación respecto al empleo agrícola de Vermicompost

En el Anexo II, sobre operaciones de valorización dentro del apartado R3 reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no utilizan disolventes incluidos el compostaje y otros procesos de transformación biológica. (Ley 22/2011), se podría incluir el vermicompostaje, por su clara naturaleza biológica del proceso.

Según se indica en el Real Decreto 506/2013 de Fertilizantes (BOE nº 164 de 10 de julio del 2013), el vermicompost se incluye en el grupo 6 “Enmiendas Orgánicas” que debe cumplir con los siguientes requisitos mínimos, tal y como se indica en la **tabla 7.**

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Tabla 7. Requisitos mínimos que debe cumplir la enmienda orgánica para ser considerado vermicompost

Contenido mínimo en nutrientes (% en masa)	Otras informaciones sobre la denominación del tipo o del etiquetado	Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse
<ul style="list-style-type: none"> Materia orgánica total: 30% Humedad máxima: 40% C/N <20 El 90% de las partículas pasarán por la malla de 25cm. 	<ul style="list-style-type: none"> pH Conductividad eléctrica Relación C/N Humedad mínima y máxima Se podrán añadir las denominaciones usuales en el comercio 	<ul style="list-style-type: none"> Materia orgánica total C orgánico N total (si > 1%) N orgánico (si >1%) P2O5 total (si > 1%) K2O total (si >1%) Ácidos Húmicos Granulometría Tipo o tipo de estiércoles utilizados

En España existen un total de 43 productos fertilizantes registrados en el Ministerio (MAGRAMA, 2016) como Vermicompost y su empleo agrícola se realiza en distintos sectores, tales como en campo con distintas especies, ornamentales, semilleros y en recuperación de suelos. En la siguiente tabla se muestran las dosis de empleo de humus de lombriz, en distintas aplicaciones agrícolas (Gutiérrez Chiapas, 2008).

Tabla 8. Dosis de empleo de humus de lombriz, en distintas aplicaciones agrícolas.

Aplicaciones agrícolas	Dosis de empleo
Praderas	800 g/m ²
Frutales	2 kg/árbol
Hortalizas	1 kg/m ²
Césped	0.5-1 kg/m ²
Ornamentales	150 g/planta
Semilleros	20 %
Abonado de fondo	160-200 l*/m ²
Trasplante	0.5-2 kg/árbol
Recuperación de terrenos	2500-3000 l/ha
Setos	100-200 g/planta
Rosales y leñosas	0.5-1 kg/m ²

*Nota: 1 litro de humus de lombriz al 50% de humedad equivale a 0,54 kg. (Nogales et al., 2014).



3. MATERIAL Y MÉTODOS

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para conseguir el objetivo principal del presente trabajo, se han inoculado 100 lombrices, lombriz roja de california (*Eisenia foetida*), en contenedores de 27x27x37 cm, a una cantidad de 4 kg de MS de cada tipo de compost inicial.

El compost introducido en las cajas fue humectado al 80% de su peso, para adecuarlo para que las lombrices se encuentren en un ambiente cercano al ideal.

La identificación de las cajas fue la siguiente: C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C9.

El diseño experimental, se estableció de la siguiente manera:

- ✓ Fase 1: Caracterización inicial de los compost.
- ✓ Fase 2: Acondicionamiento del compost para la inoculación y desarrollo del proceso de vermicompostaje.
- ✓ Fase 3: Caracterización del producto final obtenido (vermicompost).

Para el desarrollo de la fase 2, se humectó el compost al 100% y se acondiciono el recipiente para favorecer el drenaje de lixiviados. La fase de vermicompostaje se inició con la inoculación de las 100 lombrices, en este proceso se controló la humedad de la caja semanalmente, añadiendo agua cuando fuese necesario (1litro de agua por caja aproximadamente). Cuando se observó que el total del compost había sido transformado por las lombrices en humus, se procedió a la extracción de las lombrices de las cajas para realizar un conteo de las mismas y dar paso a la siguiente fase.

En la fase 3, se deja de humectar el material ya transformado, para que alcance alrededor de un 30 a 40% de humedad y dar paso al muestreo del vermicompost obtenido.

En las muestras de los materiales iniciales y en los vermicompost se determinaron:

- Humedad
- pH
- Conductividad eléctrica
- Materia orgánica total y cenizas
- Carbono orgánico total y Nitrógeno total
- CIC
- Relación C/N

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

- Contenido de P, K y Na
- IG

3.2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Los ingredientes así como las distintos porcentajes de los compost utilizados se muestran en la **Tabla 9**. Estos distintos ingredientes fueron mezclados para conseguir ajustar la relación C/N óptima para que se favorezca el proceso de compostaje.

Tabla 9. Ingredientes de los compost utilizados en el experimento

CAJA/COMPOSTS	INGREDIENTES (%)
C-1	Estiércol cabra (78,4) +Césped (10,1) +Paja cereal (11,5)
C-2	Lodo EDAR Torrevieja (29,6) +Restos poda morera (70,4)
C-3	Lodo EDAR Orihuela (29,5) +Hoja palmera (36,8)+Poda morera (33,7)
C-4	Lodo EDAR Orihuela (42,2) +Hoja palmera (57,8)
C-5	Lodo EDAR Carrizales (36,2) + Hoja palmera (63,8)
C-6	Lodo EDAR Algorós (29,5) +Caña río (70,5)
C-7	Lodo EDARI (27,5) +Tronco de palmera (72,5)
C-8	Lodo EDARI (19,6) + Caña de río (80,4)
C-9	Lodo EDARI (40,9) +Restos poda EPSO (59,1)

3.2.1. Dispositivo de vermicompostaje utilizado

El proceso de vermicompostaje objeto de este estudio se ha desarrollado en la Escuela Politécnica de Orihuela (E.P.S.O.) en la nave COMPOLAB y la analítica en los laboratorios del Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente.

Las cajas están fabricadas en polietileno de alta densidad y resistente a los rayos ultravioletas, una capacidad de 27 litros, color blanco, con dimensiones 27 cm x 37 cm x 27 cm de altura y un peso de 1.5 Kg, al estar abiertas se garantiza el suministro de aire para las lombrices y que la degradación de la materia orgánica se realice en condiciones aeróbicas **Figura 6**. Para el drenaje de lixiviado se realizaron 5 agujeros de diámetro 10 mm

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA



Figura 6. Cajas utilizadas para el vermicompostaje de 27 litros de capacidad.

3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este apartado se comentan todos los procesos y pasos seguidos para la realización del proceso de vermicompostaje, así como los procesos previos para la preparación del compost a inocular. Por ello se comenta este desarrollo experimental en diferentes pasos:

1. Preparación del compost para inocular.
2. Seguimiento del proceso de vermicompostaje (humectación).
3. Muestreo del material final y otras operaciones realizadas.

3.3.1. Preparación del compost

Para realizar este ensayo, se consideraron como insumos compost con distinta composición referida en la tabla anterior previamente realizados en otros ensayos de compostaje en COMPOLAB, en EPSO y que corresponden a la denominación C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 y C9.

3.3.2. Seguimiento del proceso de vermicompostaje

El seguimiento del proceso de vermicompostaje, consistió básicamente en vigilar que se encuentre el material humectado correctamente y que las lombrices no sufran el ataque de algún depredador (ratas, aves, ciempiés, hormigas).

3.3.3. Muestreo del material y otras operaciones realizadas

Cada muestra de compost y vermicompost se obtuvo como resultado de 3 submuestras tomadas de sitios diferentes de la pila y caja correspondientes,

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

considerando todo el perfil (desde la parte superior hasta la parte inferior de la pila). Las muestras se secaron al aire y se molieron a 0,5 mm para su análisis.

Las cajas se muestrearon a los 0 días (inicio de vermicompostaje), 120 días (final de maduración). En las muestras de compost y vermicompost se determinó el pH y la conductividad eléctrica en el extracto acuoso 1:10 (w/v), materia orgánica total, carbono orgánico total y el nitrógeno total, capacidad de intercambio catiónico, fósforo, sodio, potasio y también se determinó el índice de germinación (IG). El número de lombrices adultas, juveniles y huevos se contabilizaron al final de la fase de vermicompostaje. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

3.4 MÉTODOS ANALITICOS

Preparación de la muestra

En el caso de las muestras de compost y vermicompost, una vez secas a 105°C se muelen en un molino y se tamizan a través de una malla de 0,5 mm de luz.

➤ **Humedad original**

Se toma como humedad el porcentaje de agua con respecto a muestra húmeda, por diferencia de pesadas entre material húmedo y seco a 105°C.

➤ **Pérdida de peso por calcinación**

En compost y vermicompost, se toma como “materia orgánica total” la pérdida de peso por calcinación a 430 ° C. Se determina según el método de Navarro y col. (1993).

➤ **Medida del pH**

El pH se mide sobre la suspensión acuosa obtenida por agitación mecánica durante 2 horas de la proporción 1:10, sólido/líquido. La medida se realiza con un pH-metro.

➤ **Conductividad eléctrica**

Se determina sobre la suspensión acuosa anterior, previamente centrifugada y filtrada, con un conductímetro.

➤ **Carbono orgánico total y nitrógeno total**

Se realiza quemando la muestra a 1020°C en un analizador elemental (Navarro y col., 1991).

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

➤ Digestión húmeda nítrico perclórica

Digestión nítrico-perclórica de las muestras según el método recomendado por Abrisqueta y Romero (1969).

Reactivos

Ácido nítrico concentrado ($d = 1,33$)

Ácido perclórico 60 %

Ácido clorhídrico 0,5 N

Procedimiento

En un tubo de digestión de doble enrase de 50 ml se pesa 0,5 g de muestra seca al aire y molida a través de una malla de 0,5 mm de luz, con una precisión de 0,0001 g. Se añaden 6 ml de mezcla nítrico-perclórica 2:1 y se deja macerar durante toda la noche. Se calienta a 150 °C durante 1 hora y a 210 °C durante 2 horas en bloque digestor. Las paredes y fondo se lavan con HCl 0,5 N hasta llevar el volumen a 50 ml y a continuación se filtra con papel lavado a los ácidos.

➤ Fósforo total

Se determina por medida espectrofotométrica de la intensidad de coloración amarilla producida por el complejo fosfovanadato molibdato amónico (Kitson y Mellon, 1994), obtenido sobre una fracción del extracto de mineralización.

➤ Sodio y potasio

Estos elementos se midieron en disoluciones adecuadas del extracto de digestión nítrica perclórica anteriormente obtenida, mediante fotómetro de llama.

➤ Índice de germinación (IG)

El índice de germinación (IG) fue determinado usando semillas de *Lepidium sativum* L. (Zucconi et al., 1985). Se determina a partir de los porcentajes de semillas germinadas y longitud de las raíces de semillas *Lepidium sativum* L., incubadas en un extracto acuoso del compost o vermicompost.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

3.5. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

El tratamiento estadístico aplicado a los datos obtenidos se realizó mediante un análisis estadístico Anova de un factor (compost frente a vermicompost) para cada tipo de material.

Posteriormente se realizó un análisis general lineal multivariante donde se consideran conjuntamente todos los compost frente a todos los vermicompost.

En los casos de que la F-ANOVA mostró cierta significación, se empleó la prueba Tukey-b como prueba post-hoc para evaluar las diferencias entre medias específicas, mostrándose en los resultados mediante el empleo de letras para una probabilidad del 95% ($P < 0,05$).





4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La acción conjunta de lombrices y microorganismos durante el vermicompostaje produce importantes cambios en las propiedades químicas y físicas de los residuos orgánicos. En las siguientes tablas y figuras de los distintos parámetros analizados se puede observar cómo hay cambios en estas propiedades según el tipo de compost pudiendo aumentar o disminuir su porcentaje entre compost y vermicompost.

A continuación se discutirán cada uno de los parámetros individualmente y de forma más extensa.

4.1. EVOLUCIÓN DE LA FRACCIÓN HIDROSOLUBLE: pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Evolución del pH

Uno de las principales propiedades afectadas por el proceso de vermicompostaje es el pH. Es modificado dependiendo del valor que presente inicialmente el tipo de compost a vermicompostar (Tabla 10).

Tabla 10. Fracción Hidrosoluble pH y CE.

	Ph		Sign	(%)	CE (mS/cm)		Sign	(%)
	Compost	Vermi.			Compost	Vermi.		
C 1	6,88	7,30	3.7ns	6	2,6	5,5	507.3***	109
C 2	6,61	6,95	7.1ns	5	4,4	4,1	37.7**	-7
C 3	6,53	6,67	0.6ns	2	7,5	6,9	24.4*	-8
C 4	6,56	6,11	7.8*	-7	6,8	7,6	24.7*	11
C 5	6,37	6,21	7.8*	-2	7,2	7,1	0.03ns	-1
C 6	6,87	6,60	1.3ns	-4	3,8	4,9	87.9**	30
C 7	6,13	6,41	3.1ns	5	7,6	4,8	162***	-37
C 8	6,12	6,80	160.9***	11	4,0	3,4	24.3*	-15
C 9	6,59	6,64	0.1ns	1	5,8	5,8	1.0ns	-1
MGLM*	6.52	6.63	4.5*	2	5.51	5.55	0.28ns	9

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

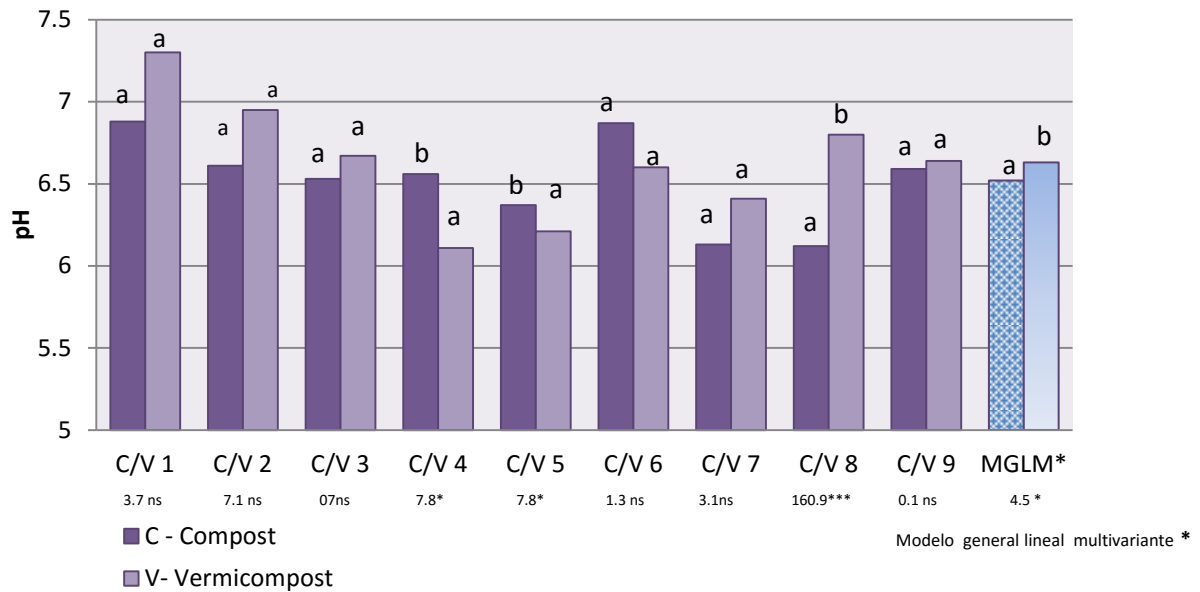


Figura 7. Valores de pH, de compost (C) y vermicompost (V)

La degradación de los residuos ácidos en condiciones aerobias y en presencia de elevada humedad favorecen la formación de hidróxidos básicos durante las primeras fases del proceso (Singh y col., 2005), esto contribuye a que el pH tienda a subir, como ocurre en la mayoría de las cajas, dando vermicompost ligeramente ácidos o cercanos a la neutralidad, al contrario en la cajas 4, 5 y 6., el pH disminuyó pudiendo ser debido a la mineralización del nitrógeno y el fósforo orgánico en nitritos o nitratos y en orto-fosfatos, respectivamente (Elvira y col., 1988; Haimi y Hitha, 1986). En la caja 4, se puede observar esta mineralización ya que el nitrógeno total aumentó considerablemente un 108%, y en las cajas 5 y 6 el fósforo aumentó entorno al 124% y 145% respectivamente, tal y como veremos en los siguientes apartados.

El cambio de pH más importante estadísticamente (muy significativo) fue para la caja C8, aunque el pH final del vermicompost estuvo cercano a la neutralidad y dentro del rango de los demás vermicompost. En el conjunto, hubo un ligero incremento del pH (MGLM), aunque hacia valores cercanos a la neutralidad, este acercamiento del pH a 7, es positivo, ya que expertos en vermicompostaje señalan valores de pH > o igual a 7 es indicativo de madurez (Nogales y col., 2002).

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evolución de la conductividad eléctrica CE (mS/cm)

La conductividad eléctrica también se ve afectada por el proceso de vermicompostaje, el contenido generalmente disminuye por el lavado de sales tras el aporte de agua para mantener la humedad, aunque puede verse aumentada por efecto de la mineralización de la materia orgánica. La CE debe ser controlada en el vermicompostaje ya que los lombrices no sobreviven a valores de conductividad superiores a 8 dS m^{-1} (Edwards, 1988).

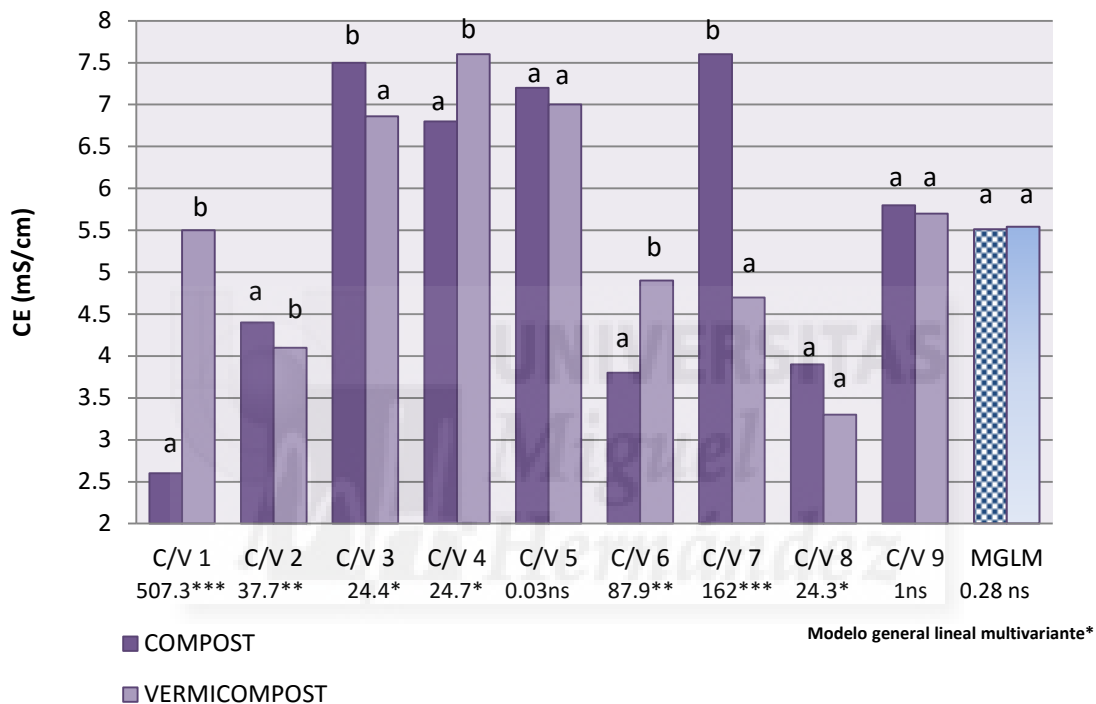


Figura 8. Valores de CE, de compost (C) y vermicompost (V)

La conductividad aumentó significativamente en el la caja 1, esto está relacionado con las nulas perdidas de Na que existieron en esta caja, las cajas 4 y 6 aumentaron en menor medida la conductividad eléctrica esto es debido a la mineralización de la materia orgánica que en porcentaje es de un 15% para la caja 4 y un 32% para la caja 6. En el resto de cajas la conductividad disminuyo, pero sin representar una significancia alta con excepción de la caja 7 que bajo en un 37% de conductividad relacionado en gran medida con la pérdida de un 75% de Na y 48% de P. En conjunto (MGLM) no hubo una variación significativa de la CE.

Los valores de CE obtenidos en los distintos vermicompost de este estudio son en general más altos que los obtenidos en vermicomposts finales obtenidos por García

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

España y col., 2014, para vermicompots de residuos vegetales y estiércol de conejo o los obtenidos por Fornes y col., 2013 empleando residuos vegetales de tomate.

4.2 EVOLUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA Y DEL CARBONO ORGANICO TOTAL

El estudio de la evolución de la materia orgánica tras un proceso de biotransformación como es el vermicompostaje nos proporciona información acerca de los procesos que ocurren y de la mayor o menor intensidad de la actividad biológica durante el progreso del mismo.

Materia orgánica (MOT %)

En teoría la materia orgánica debe ir descendiendo debido a la acción de las lombrices y microorganismos que actúan sobre esta. Es un parámetro importante porque en el caso de aplicarse al suelo, el nivel de materia orgánica que aporte la enmienda orgánica, incide de forma global en todas sus propiedades (físicas, químicas y biológicas) y en la fertilidad del suelo como medio de cultivo y en caso de utilizarse como sustrato la MO incidirá sobre sus propiedades físicas, siendo indispensable a demás conocer su estabilidad.

Tabla. 11 Evolución de la materia orgánica y de su fracción solida

	MOT (%)		Sign	%	COT (%)		Sign	%
	Compost	Vermi.			Compost	Vermi.		
C 1	54,4	57,9	1ns	6	33,2	28,6	45*	-14
C 2	59,3	60,7	0.5ns	2	28,1	32,0	21.4*	14
C 3	63,1	58,8	1.4ns	-7	32,4	29,2	14.5*	-10
C 4	47,7	40,5	63**	-15	25,9	20,8	241.2***	-20
C 5	34,2	55,5	55**	62	23,8	29,7	78.1**	25
C 6	65,7	44,6	24.6**	-32	22,8	20,8	2.7ns	-9
C 7	58,4	42,7	15.4*	-27	25,6	21,6	65.5**	-16
C 8	48,1	45,8	0.2ns	-5	23,8	21,1	57.7*	-12
C 9	51,6	50,2	0.2ns	-3	26,3	27,1	1ns	3
MGLM*	48	45.9	5.3*	-2	27.2	26.9	12.6**	-4

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

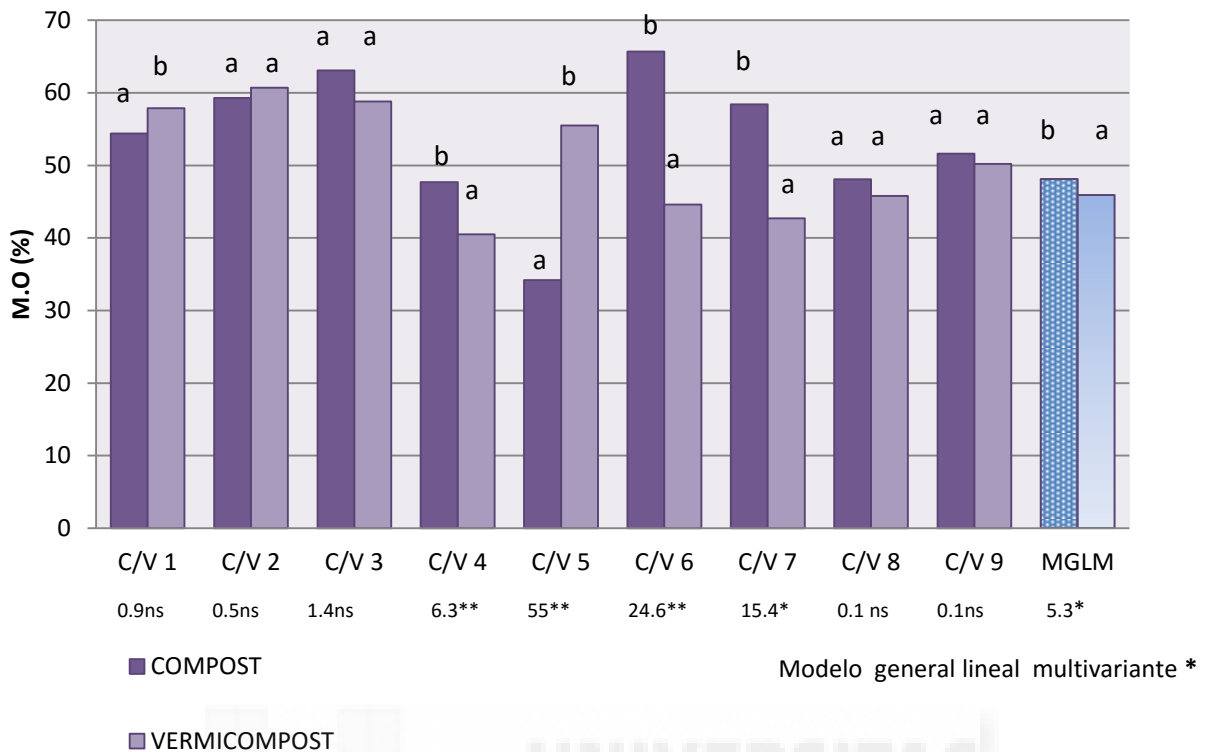


Figura 9. Valores de M.O de compost (C) y vermicompost (V)

En conjunto hubo una disminución significativa de la materia orgánica, las mayores pérdidas de materia orgánica se dieron en las cajas 4,6 y 7, también se debe tener en cuenta que en la caja 5 hubo un aumento de la materia orgánica que puede estar relacionado con la naturaleza del compost, el cual contiene una elevada cantidad de hoja de palmera con elevada cantidad de fibra, la cual al parecer incide en una menor asimilación de estos restos vegetales por las lombrices y por tanto en una menor biotransformación de estos compuestos a inorgánicos.

El grado de disminución de la materia orgánica en el vermicompostaje varía dependiendo de diferentes factores como la naturaleza del residuo, su biodegradabilidad, la especie de lombriz y su densidad, de las condiciones del vermicompostaje y de su duración (Nogales y col., 2008).

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Carbono orgánico total (COT%)

Al igual que el contenido de materia orgánica, el contenido de carbono orgánico disminuye a lo largo del proceso de vermicompostaje como consecuencia de la mineralización. En conjunto ha disminuido significativamente, aunque en las cajas 2 y 5 ocurrió un aumento del COT.

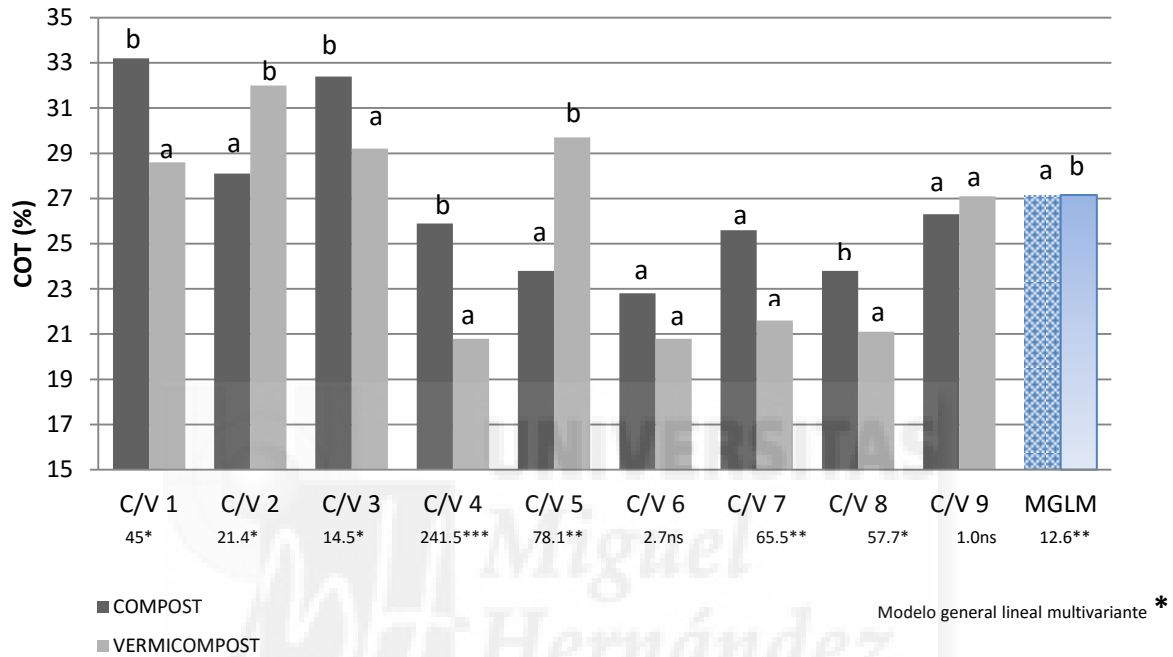


Figura 10. Valores de COT, compost (C) y vermicompost (V)

4.3 EVOLUCION DEL NITROGENO TOTAL

Nitrógeno total

El nitrógeno es un nutriente esencial para la vida vegetal cuya toma, por parte de las plantas, se produce en su forma inorgánica. Los contenidos de nitrógeno en un residuo fresco o compostado de naturaleza orgánica condiciona su capacidad fertilizante. El nitrógeno se encuentra tanto en forma orgánica como en forma inorgánica, aunque mayoritariamente es la forma orgánica la que está presente en los residuos (Paredes y col., 2002).

A lo largo del proceso de vermicompostaje, se produce una descomposición de la materia orgánica y, por tanto, también de su fracción nitrogenada, siendo de esperar que durante el proceso de vermicompostaje el nitrógeno orgánico se irá transformando, paulatinamente, en especies inorgánicas. Estas especies inorgánicas,

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

en un cierto porcentaje, se pueden perder por lixiviación con la fase líquida o por volatilización a la atmósfera (liberación de amoníaco). Así pues, tenemos una serie de procesos que hacen que el contenido de nitrógeno inicial pueda verse disminuido. Sin embargo, la pérdida de materia orgánica que se produce a lo largo del vermicompostaje, traducida por tanto en una reducción en el peso de la masa a vermicompostar, hace que las especies nitrogenadas, tanto orgánicas como inorgánicas, experimenten el llamado “efecto concentración”, es decir, al final del proceso de “compostaje”, a pesar de que se pierde nitrógeno, éste estará más concentrado en el “compost” final debido a esa reducción en la masa de la “pila” comentada anteriormente. El comportamiento del nitrógeno en el vermicompostaje puede ser variable dependiendo del tipo de residuo orgánico y de las condiciones del proceso (Nogales et al., 2014). El anormal aumento del contenido nitrogenado en el compost 5, podría ser debido al efecto de la mineralización del residuo que reduce su volumen, y además a procesos microbianos de fijación de nitrógeno atmosférico que pueden desarrollar algunos microorganismos involucrados en el vermicompostaje (Bhattacharya y Chattopadhyay, 2004).

Tabla 11. Variación del Nitrógeno Total, de Compost a Vermicompost

	NT (%)		(%)	Sign
	Compost	Vermi.		
C 1	3,04	2,84	-7	4.50ns
C 2	3,12	3,29	6	3.20ns
C 3	3,49	3,39	-3	0.50ns
C 4	2,32	2,10	-9	69.5**
C 5	1,59	3,30	108	727***
C 6	1,89	2,12	12	9.05*
C 7	2,87	1,69	-41	219.5**
C 8	2,02	1,90	-6	26.70*
C 9	2,56	2,49	-3	0.15ns
MGLM*	2.55	2.60	6	0.5ns

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

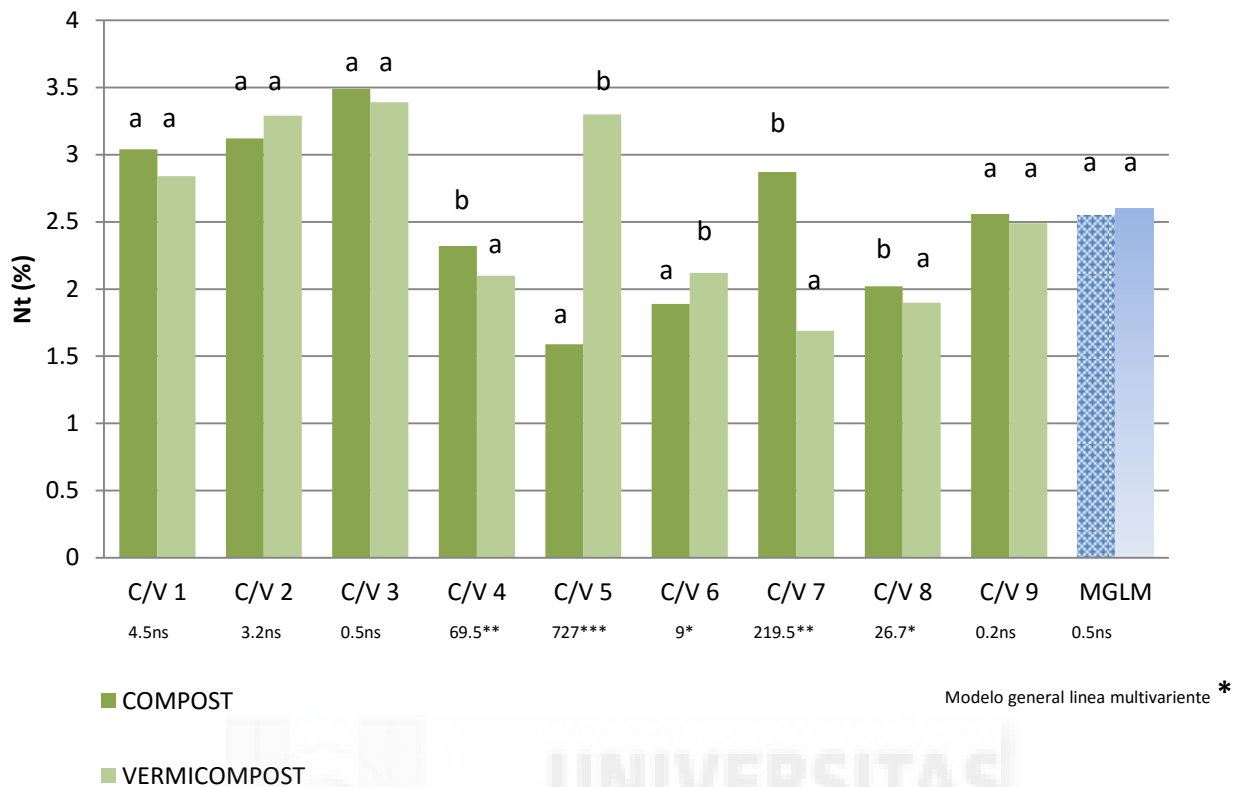


Figura 11. Valores de Nitrógeno Total, de compost (C) y vermicompost (V)

En conjunto no hubo una variación significativa del contenido de nitrógeno total, esto resulta interesante ya que, al ser un nutriente esencial para las plantas, interesa que el vermicompost mantenga unos porcentajes similares al que tenía el compost utilizado, la mayoría de las cajas mantuvieron porcentajes similares a excepción de la 5 y 7 en las cuales se produjo una variación estadísticamente muy significativa con respecto al compost de origen, uno respecto a un aumento y otro de descenso, respecto al compost inicial. Los valores de NT son similares a los obtenidos para vermicomposts por García España y col., 2014.

4.4 RELACIÓN CARBONO ORGÁNICO TOTAL - NITRÓGENO TOTAL (C/N)

La relación carbono orgánico total/nitrógeno total (C_{Org}/N_T) de la muestra sólida es uno de los índices más utilizados para estudiar la evolución de la materia orgánica durante el compostaje, ya que por un lado, representa la pérdida de carbono orgánico, como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica, mientras que por otro, mide el aumento de la concentración de nitrógeno debido a la pérdida de peso. Como resultado general, según MGLM, se obtiene una

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

disminución de este parámetro de manera estadísticamente significativa, cuyos valores al final del proceso son prácticamente constantes, causados por la estabilización de la materia orgánica.

Tabla 13. Variación de porcentaje de la relación (C/N)

	Ratio C/N		(%)	Sign
C 1	11,00	10,10	58.40*	-8
C 2	9,00	9,70	25.65*	8
C 3	9,30	8,60	2.10ns	-8
C 4	11,20	9,90	429.05***	-11
C 5	15,00	9,00	245.10***	-40
C 6	12,00	9,80	174.20***	-19
C 7	8,90	12,80	139.8***	43
C 8	11,80	11,10	50.80**	-6
C 9	10,30	10,90	0.51ns	5
MGLM*	10,95	10,20	10.20***	-4

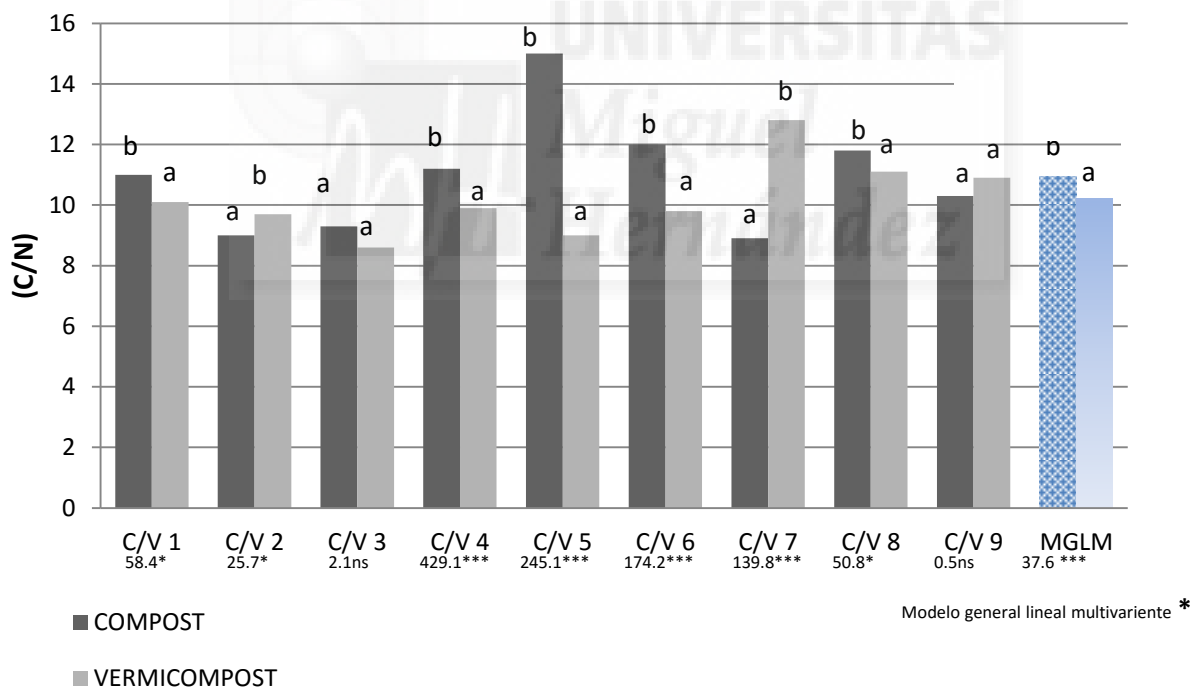


Figura 12. Valores de la relación (C/N), de compost (C) y vermicompost (V)

Tanto conjuntamente como individualmente a excepción de la caja 9, en la cual no hubo cambios significativos, se produjo una disminución de la relación C/N como se comentó en la introducción de este parámetro. El valor C/N < 20 en todos los casos de

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

modo que cumplen con este requisito mínimos según se indica en el Real Decreto 506/2013 de Fertilizantes para todos denominarse *vermicompost*.

4.5 CONTENIDO DE FÓSFORO, POTASIO Y SODIO TOTAL

Contenido de fósforo total

El fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano. Al igual que el contenido de nitrógeno, el contenido del resto de nutrientes (P y K) y de sodio aumenta durante el proceso de vermicompostaje probablemente debido a un efecto concentración, como consecuencia de la pérdida de peso de la muestra por degradación de materia orgánica, por acción de las lombrices y microorganismos.

Tabla. 14 Variación de porcentaje del contenido de Fósforo

Fosforo (P %)				
	Compost	Vermi	(%)	Sign
C 1	9,7	13,9	43	34.80*
C 2	15,5	22,8	48	40.00*
C 3	8,7	15,3	77	299.60***
C 4	6,4	14,3	124	27.50**
C 5	7,7	18,9	145	466.50***
C 6	10,4	12,8	23	53.90*
C 7	11,3	5,9	-48	10.25*
C 8	5,1	6,3	24	105.20**
C 9	7,0	11,5	65	97.80**
MGLM*	9,1	3,6	56	304.80***

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

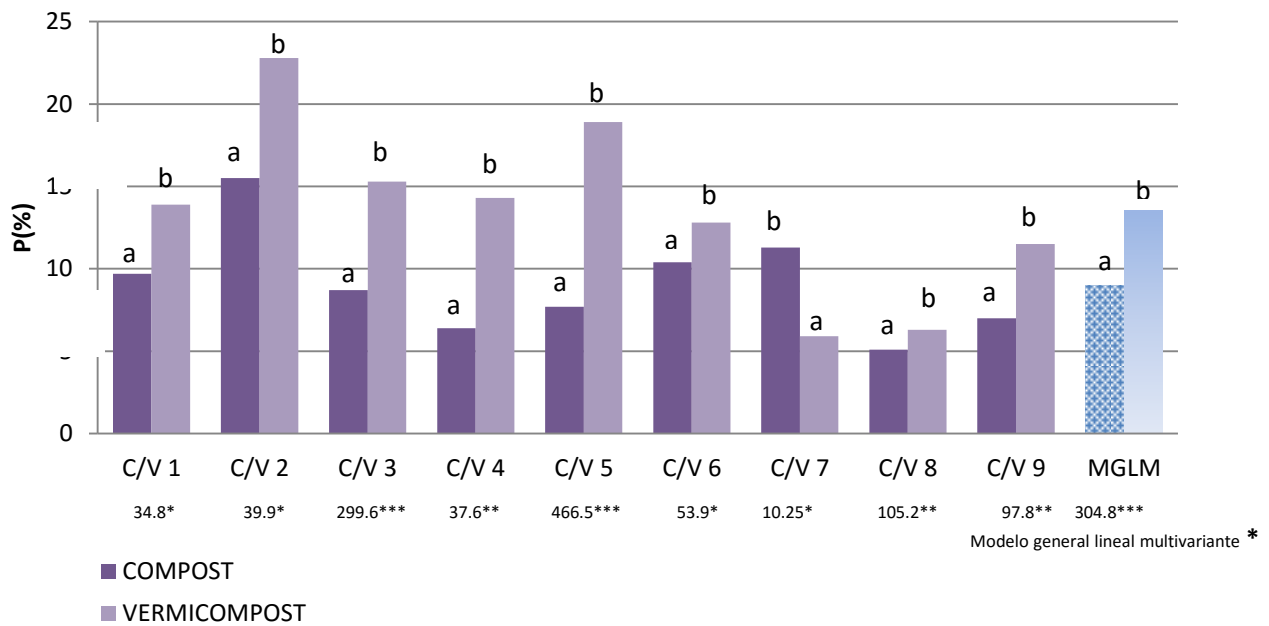


Figura 13. Valores de Fósforo, de compost (C) y vermicompost (V)

El aumento del contenido de fósforo fue significativamente alto excepto en la caja 7 en la cual el efecto de concentración no se produjo. Este nutriente esencial al igual que el nitrógeno y el potasio, por lo tanto, interesa que aumente o se mantenga con relación al compost de origen. Este elemento es uno de los que más claramente aumenta en los vermicomposts junto con el caso de Ca y Mg (Elvira y col., 1998; Benítez y col., 2002; Melgar y col., 2009) tal y como ha ocurrido en nuestro estudio, excepto en el compost C7.

Contenido de potasio total

Al igual que cualquier otro elemento nutriente, interesa que los valores se mantengan como mínimo iguales a los del compost de origen. Entre los tratamientos, de forma global se puede mencionar que hay diferencias significativas en el contenido de potasio entre el compost y el vermicompost, en este último, siendo su contenido menor para cinco de los nueve casos y en general para MGLM.

El proceso de vermicompostaje a partir del compost fue positivo, respecto al aumento respecto a los niveles de K en los tratamientos C1, C7, C8 y C9, siendo su porcentaje 41,13, 7 y 21 %, respectivamente.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Tabla. 15 Variación de porcentaje del contenido de Potasio

	K (%)		Sign
	Compost	Vermi.	
C 1	7,5	10,6	41
C 2	9,3	6,2	-34
C 3	11,4	7,1	-38
C 4	14,7	13,2	-10
C 5	10,2	9,2	-10
C 6	12,9	7,9	-39
C 7	10,3	11,6	13
C 8	7,8	8,4	7
C 9	11,7	14,1	21
MGLM*	10.65	9.82	-5

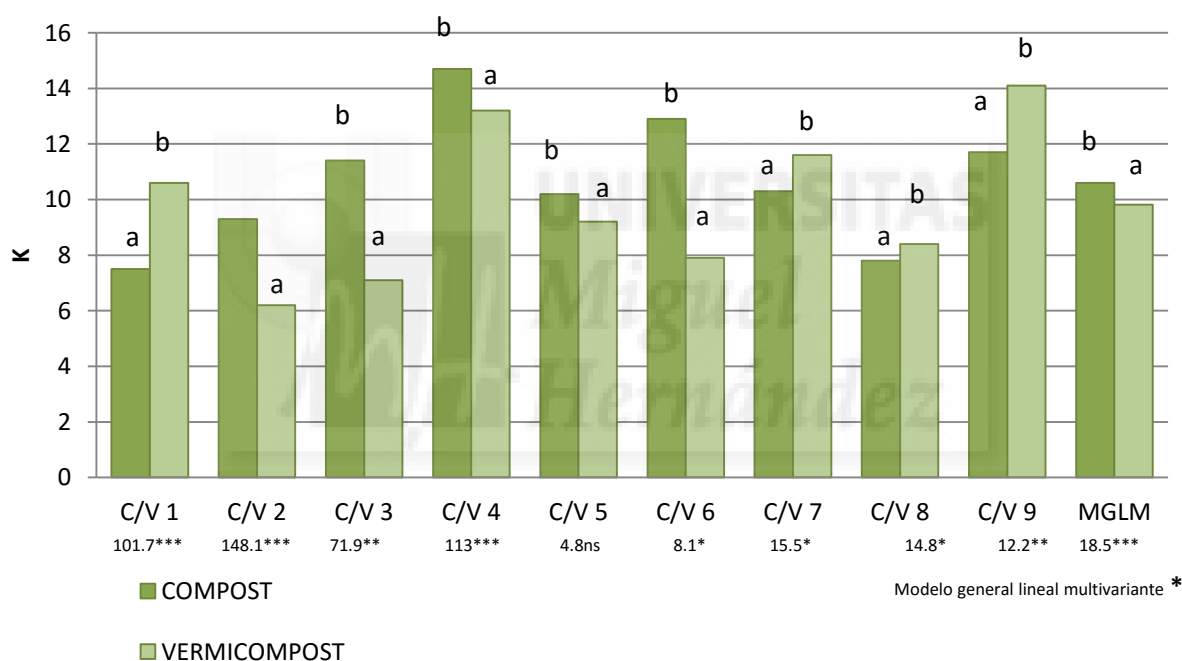


Figura 14. Valores de Potasio en el compost (C) y vermicompost (V)

Contenido de Sodio

En nuestro estudio, el contenido de sodio inicial de los compost eran muy elevados, y por ello era muy interesante el estudio de los cambios de este micronutriente tras el proceso de vermicompostaje.

Entre los tratamientos, de forma global se puede mencionar que hay diferencias significativas en el contenido de sodio entre el compost y el vermicompost, siendo su contenido menor en este último, de forma general para todos con niveles de

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

disminución muy elevados para todos excepto para el compost C1 que es precisamente, el que tenía menor valor de este elemento.

Tabla 16. Variación de porcentaje del contenido de Sodio.

	Na (g/kg)		%	Sign
	Compost	Vermi		
C 1	2,5	2,5	0	0.00ns
C 2	2,6	1,1	-59	160.7***
C 3	4,5	1,0	-78	20697.20***
C 4	7,6	1,6	-78	41389.60***
C 5	4,1	1,1	-73	99.50***
C 6	3,4	1,0	-71	10.25*
C 7	5,9	1,5	-75	321.30***
C 8	2,6	0,8	-70	561.7***
C 9	5,2	1,5	-72	4680.00***
MGLM*	4.26	1.33	-64	2992.3***

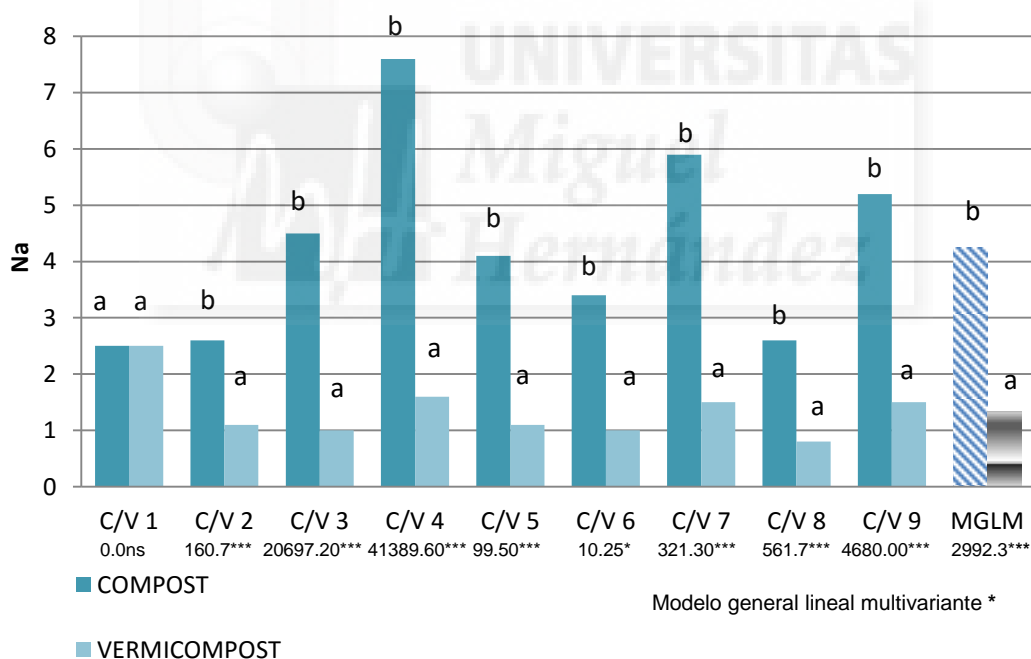


Figura 15. Valores de Sodio, en compost (C) y vermicompost (V)

Este resultado es muy positivo, ya que el sodio a nivel de uso agrícola de estos materiales, pueden dar problemas de fitotoxicidad para algunos cultivos si los valores son tan elevados como en algunos de los compost utilizados.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

4.6. PARÁMETROS INDICATIVOS DE LA CALIDAD DEL COMPOST

Capacidad de cambio catiónico

La capacidad de cambio catiónico es un parámetro indicativo del proceso de compostaje y grado de humificación de los materiales orgánicos durante el compostaje, así como de la calidad del material final obtenido. El grado de humificación de la materia orgánica en el suelo, al igual que ocurre en el compostaje de residuos orgánicos, está estrechamente relacionado con la capacidad de cambio catiónico, aumentando progresivamente a medida que la humificación de la materia orgánica progresa. Este incremento de la CCC ha sido aceptado universalmente como criterio de madurez e indirectamente como criterio de “humificación” de materiales orgánicos (Roig y col, 1988).

Diversos autores (Harada e Inoko (1980) e Iglesias Jiménez y Pérez García (1992)) han estudiado la evolución de este parámetro, observando que la capacidad de cambio catiónico en compost aumentaba conforme progresaba el proceso hasta alcanzar un valor estable, concluyendo que si éste se sitúa en el rango de CCC > 60-67 meq/100g sobre materia orgánica en compost elaborado con residuos sólidos urbanos, indicaba que el compost estaba maduro.

Tabla 17. Variación de porcentaje de la capacidad de cambio catiónico.

	CCC (meq/100 g m.o.)		%	Sign
	Compost	Vermi		
C 1	89	102	15	16.30*
C 2	111	140	26	2.25ns
C 3	139	171	23	3.00ns
C 4	131	169	30	27.50**
C 5	157	216	38	11.50*
C 6	70	144	106	46.10***
C 7	132	194	47	40.90***
C 8	63	89	41	13.7*
C 9	76	91	19	5.4ns
MGLM*	107.65	146.40	38	103.80***

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

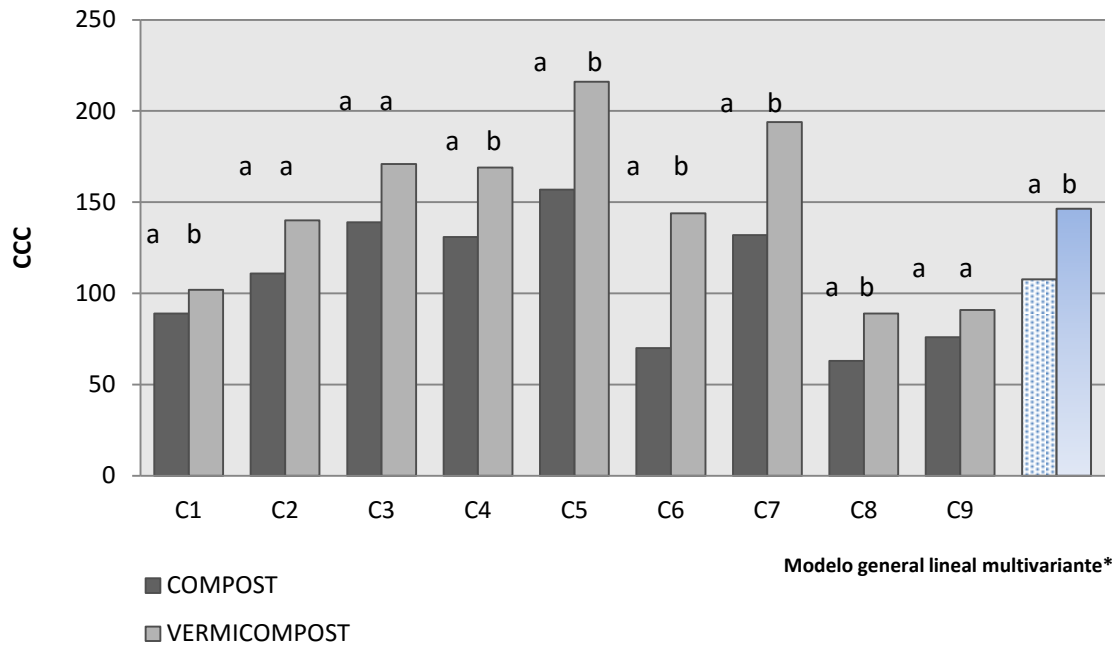


Figura 16. Valores de cambio catiónico, de compost (C) y vermicompost (V)

Debido a la estrecha relación entre CCC y el grado de humificación de los materiales orgánicos como se ha mencionado antes, para obtener un vermicompost de mejor calidad este parámetro no debe disminuir. En general todas las cajas aumentaron en porcentaje la CCC, aunque en la caja 2, 3 y 9 el aumento en porcentaje no fue significativo, con lo cual se puede decir que con respecto a este parámetro, ha aumentado la calidad del producto final.

Índice de germinación

El índice de germinación (IG) de semillas es un método biológico que proporciona información precisa y real sobre el grado de madurez alcanzado por un compost. En este estudio, se ha utilizado el IG, propuesto por Zucconi y col. (1981), que consiste en la incubación de semillas de *Lepidium sativum* L., durante 24 horas a 27° C, sobre extracto acuoso del compost. Según éste método el compost está maduro cuando $IG > 50$. Se trata de un bioensayo muy sensible a los efectos inhibidores de las fitotoxinas (fenoles, ácidos grasos, amoniacos, etc., resultantes de los procesos de mineralización de la materia orgánica).

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Tabla 18. Variación de porcentaje del Índice de Germinación

	IG (%)		%	Sign
	Compost	Vermi		
C 1	101	115	14	4.9ns
C 2	128	132	3	4.55ns
C 3	100	129	29	72.00**
C 4	98	111	14	8.9*
C 5	144	127	-11	8.8*
C 6	130	150	15	17.8*
C 7	101	116	15	31.08**
C 8	122	124	1	9.10*
C 9	108	125	15	12.5*
MGLM*	115	126	11	53.6***

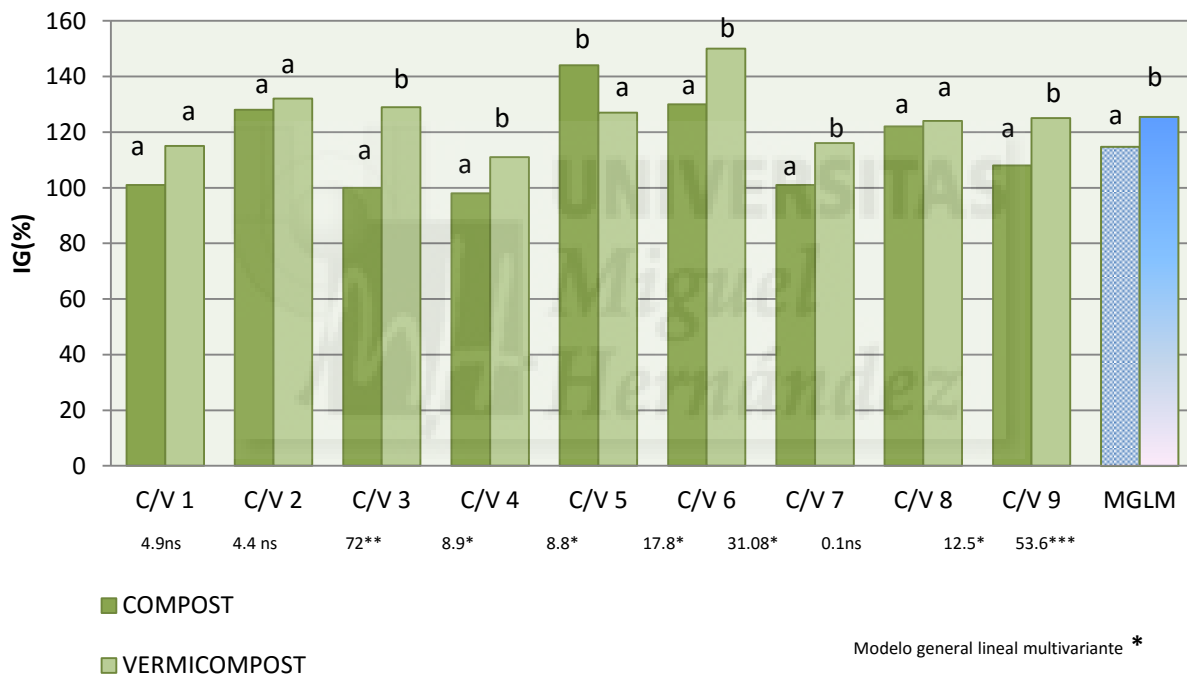


Figura 17. Valores de índice de germinación de compost (C) y vermicompost (V)

En conjunto el IG aumentó significativamente, lo que se traduce en una mejor calidad del producto final obtenido con un alto grado de madurez, si bien la caja 5 disminuyó significativamente su IG, pero con ese valor de índice, se puede considerar un compost de calidad con respecto a este parámetro.



5. CONCLUSIONES

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

5. CONCLUSIONES

Respecto al trabajo realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- ✓ El vermicompostaje como post-tratamiento de compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza (residuos ganaderos, lodos de la industria agroalimentaria, lodos de depuradoras de aguas residuales, restos de parques y jardines,) ya elaborados como es el caso de este experimento, aumenta la calidad del compost original como se ve reflejado en la mejora de algunos parámetros tales como la CCC, relacionado con el grado de humificación de la materia orgánica y del IG.
- ✓ El vermicompostaje es un proceso más complejo que el compostaje convencional, ya que tanto el tipo de alimento como las condiciones ambientales determinaran la velocidad a la que trabajen las lombrices transformando el residuo así como la supervivencia de éstas, debiendo prestar especial atención al nivel de humedad, como uno de los parámetros clave en el proceso que en nuestro caso duró entre 90 y 120 días en finalizar si las condiciones son las óptimas.
- ✓ Respecto a los parámetros de calidad, en el proceso de vermicompostaje ha supuesto un aumento de IG, prácticamente en todos y un claro aumento de la CCC con niveles bastante importantes en algunos de los compost como el C6 (%106) (compuesto por Lodo EDAR Algoros y caña río). También se produjo un descenso de los niveles de MOT tras el vermicompostaje, como consecuencia de una mayor mineralización de la materia orgánica por la biotransformación a la que son sometidos los compost por las lombrices, excepto en C1, C2 y C5 (compuesto por Estiércol cabra, césped y paja de cereal; Lodo EDAR Torrevieja y restos poda morera; Lodo EDAR Carrizales y hoja de palmera). Otro beneficio asociado al proceso de vermicompostaje ha sido la disminución significativa del sodio el cual era muy alto en los compost de origen y que en gran medida limitan el uso agrícola de estos compost. Este descenso ha sido importante para todos los casos (entorno al 70%) excepto para C1 (compuesto por Estiércol cabra, césped y paja de cereal), donde no se produjo ningún cambio en los valores obtenidos tras el vermicompostaje.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

- ✓ Los compost C7 y C8 (compuestos de lodo de residuos agroalimentarios y tronco de palmera y caña de río, respectivamente) mostraron una respuesta positiva en cuanto a la disminución de la salinidad, la pérdida de materia orgánica y carbono orgánico y en general en el resto de parámetros. En cambio el compost C5 es el que tuvo un comportamiento más anómalo respecto a lo que debería de ser el proceso de biotransformación mediante vermicompostaje con un aumento importante de su MOT tras el compostaje (%65), descenso en el % IG y un aumento del nitrógeno total bastante importante, lo que hace pensar en algún tipo de problema respecto a su composición (Lodo de depuradora y hoja de palmera).
- ✓ Todos los vermicompost obtenidos cumplen con los requisitos mínimos que debe cumplir la enmienda orgánica para ser considerado vermicompost según se indica en el Real Decreto 506/2013 de Fertilizantes respecto a los parámetros analizados en este estudio.





6. BIBLIOGRAFÍA

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

6. BIBLIOGRAFÍA

Bhattacharya, S.S., Chattopadhyay, G.N.2004. Transformation of nitrogen during vermicomposting of fly ash. Waste Manag. Res.,22: 488-491.

Benítez, E., Sainz, H. Melagr, R., Nogales, R.2002. Vermicomposting of a lignocellulosic waste from olive oil industry: a pilot scale study. Waste Manag. Res. 22: 488-491.

Biddlestone, A.J. y Gray, K.R. 1991. Aerobic processing of solid organic wastes for the production of a peat alternative: a review. Process. Biochem., 26, 275-279.

B.O.E Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

Disponible en: http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-7540 (Acceso Agosto 2016).

Chen, Y. e Inbar, Y. 1993. Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. En: Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Ed.: H.A.J. Hoitink y H.M. Keener. Renaissance Publications. Ohio. pp. 551-600.

Edwards, C.A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic waste by earthworms. En: Edwards, C.A., Neuhauser, E.F. (Eds). Earthworms in waste and environmental management, SPB academic Publishing BV, The Hague, pp 21-31.

Elvira, C., Sampedro, L. Benítez, E. Nogales, R. 1998. Vermicomposting of sludges from paper mil and dairy industries with Eisenia Andrei: a pilot scale study. Bioresource Technology, 63: 205-211.

Fornes, F., Mendoza-Hernández, D., García-de-la-Fuente, R., Abad, Manuel., Belda, R.M. 2012. Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. Bioresource Technology 118. 296-305.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Fornes, F., Mendoza-Hernandez, D., y Belda, R.M. 2013. Compost versus vermicompost as substrate constituents for rooting shrub cuttings. Spanish Journal of Agricultural Research 11(2), 518-528.

García-España, L., Boluda Hernández, R., Soriano Soto, M.D. 2014. Compostaje y Vermicompostaje de residuos vegetales: una comparación de los productos finales. En: De residuo a Recurso: Estrategias de Gestión, Tratamiento y Valorización. Red Española de Compostaje. Ed. Bernal, M.P., Pascual, J.A., Ros, M. Clemente, R.

Kitson, R.E. y Mellon, M.G. 1944. Colorimetric determination of P as a molybdovanadato phosphoric acid. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed., 16, 379-383.

Lim, L.L., Lee, H.L., Wu, T.Y. 2016. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. Journal of Cleaner Production 111. 262-278.

Navarro, A.F., Cegarra, J., Roig, A. y Bernal, M.P. 1991. An automatic microanalysis method for the determination of organic carbon in wastes. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 22, 2137-2144.

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

Nogales, R., Romero, E., Benítez, E. y Polo, A., 2002. Reciclaje de residuos orgánicos. En: Valladares, F. (ed.). Ciencia y Medio ambiente, CCMA-CSIC. Madrid, pp 115-124.

Nogales, R., Domínguez, J., Mato, S. 2008. Vermicompostaje, En: Moreno, J., Moral, R. (Eds), Compostaje. Ed. Mundi Prensa, Madrid, pp., 187-208.

Melgar, R., Benítez, E., 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.

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

Paredes, C., Bernal, M.P., Cegarra, J. y Roig, A. 2002. Bio- degradation of olive mill wastewatersludge by its co-composting whit agricultural wastes. Bioresource Technology 85,1-8.

Saña, J. y Soliva, M. 1987. El Compostatge. Procés, Sistemes i Aplicacions. Ed.: Diputació de Barcelona. Servei del Medi Ambient. Barcelona.

Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. y de Bertoldi, M. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. BioCy

Zucconi, F. y de Bertoldi, M. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. En: Compost: Production, Quality and Use. Ed.: M., de Bertoldi, M.P., Ferranti, P., L'Hermite y F., Zucconi. Elsevier. Barking. pp. 30-50.

Zucconi, F., Monaco, A. y Forte, M. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. En: Composting of Agricultural and Other Wastes. Ed.: J.K.R. Gasser. Elsevier. Barking. pp. 73-85.

Villar, I., Alves, D., Pérez-Díaz, Domingo., Mato, Salustiano. 2016. Changes in microbial dynamics during vermicomposting of fresh and composted sewage sludge. Waste Management 48. 409-417.

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Legislación y directrices referentes al uso de compost en agricultura (MAGRAMA., 2014).....	16
Tabla 2. Requisitos mínimos exigidos para considerar a un producto compost según el real Decreto 506/2013 (MAGRAMA., 2014).....	17
Tabla 3. Características de los compost como sustratos de cultivo o componente de los sustratos de cultivo, según el RD 865/2010. (MAGRAMA., 2014).....	18
Tabla 4. Niveles máximos de microorganismos en sustratos de cultivo de origen orgánico, anexo VI RD 865/2010.....	19
Tabla 5. Niveles máximos de metales pesados en sustratos de cultivo, anexo VI RD 865/2010.....	20
Tabla 6. Parámetros aconsejables a monitorizar durante un proceso de vermicompostaje incluyendo su frecuencia de control de la información que aportan al proceso.....	26
Tabla 7. Requisitos mínimos que debe cumplir la enmienda orgánica para ser considerado vermicompost	27
Tabla 8. Dosis de empleo de humus de lombriz, en distintas aplicaciones agrícolas (Nogales et al., 2014).....	27
Tabla.9 Ingredientes de los compost utilizados en el experimento.....	30
Tabla 10. Fracción Hidrosoluble pH y CE.....	36
Tabla 11. Evolución de materia orgánica y de su fracción sólida.....	42
Tabla.12 Variación de porcentaje de Nitrógeno Total de Compost y Vermicompost...	43
Tabla 13. Variación de % de C/N.....	42
Tabla 14 Variación de porcentaje del contenido de Fósforo	45
Tabla 15 Variación de porcentaje del contenido de Potasio	47
Tabla 16 Variación de porcentaje del contenido de Sodio.....	48
Tabla.17 Variación de porcentaje del contenido de CCC.....	49
Tabla.18 Variación de porcentaje del contenido de IG.....	51

MASTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Economía circular.....	7
Figura 2. Etapas del Vermicompostaje.....	22
Figura 3. Lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>).....	23
Figura 4. Acoplamiento de Lombriz (<i>Eisenia foetida</i>).....	24
Figura 5. Pie de cría y huevecillos, (Gobierno del Estado de México, 2004).....	24
Figura 6. Cajas utilizadas para el vermicompostaje de 27 litros de capacidad.....	31
Figura 7. Valores de pH de Compost y Vermicompost.....	37
Figura 8. Valores de CE de Compost y Vermicompost.....	38
Figura 9 Valores de Materia Orgánica de Compost y Vermicompost.....	40
Figura 10. Valores de COT de Compost y Vermicompost.....	41
Figura 11. Valores de nitrógeno total de Compost y Vermicompost.....	43
Figura 12. Valores de C/N de Compost y Vermicompost.....	44
Figura 13. Valores de fósforo de Compost y Vermicompost.....	46
Figura 14 Valores de potasio de Compost y Vermicompost.....	47
Figura 15. Valores de sodio de Compost y Vermicompost.....	48
Figura 16. Valores de CCC de Compost y Vermicompost.....	50
Figura 17. Valores de IG de Compost y Vermicompost.....	51