

Universidad Publica de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA***

**COMPOSTAJE DOMÉSTICO:
ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE VERMICOMPOSTAJE E INÓCULO DE
MICROORGANISMOS AUTÓCTONOS.**

presentado por

JUAN CERVANTES IBÁÑEZ (e)k

aurkeztua

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN HORTOFRUTICULTURA Y JARDINERIA
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKOA BARATZEZAINZA, FRUTAGINTZA ETA
LOREZAINZA BEREZITASUNA**

Octubre 2014

Natxo IRIGOYEN IRIARTE, del Departamento de Ciencias del Medio Natural y Producción Agraria de la Universidad Pública de Navarra.

Certifica que: el presente trabajo de fin de carrera titulado “Compostaje doméstico: Estudio comparativo entre vermicompostaje e inóculo de microorganismos autóctonos”, elaborado por Juan Cervantes Ibáñez, ha sido realizado bajo su dirección.

Fdo: Natxo IRIGOYEN IRIARTE

Agradecimientos.

No puedo si no expresar la dificultad para agradecer apropiadamente a todas aquellas personas que me han acompañado y apoyado durante todo este tiempo. Su ayuda a lo largo de este camino ha resultado valiosa e imprescindible por más insignificante que les parezca.

A mis padres, hermanos, sobrinos, amigos y seres queridos. Compañeros en los estudios y fuera de ellos, en el trabajo, guías y profesores.

A mi familia. Gracias.

Índice de contenidos.

1. Resumen.....	7
2. Introducción.....	8
3. Antecedentes y objetivos.....	9
3.1. Proceso de compostaje.....	9
3.2. Temperatura a lo largo del proceso de compostaje y su relación con los microorganismos.....	10
3.3. Vermicompost y evaluación de su eficacia en la degradación de la materia orgánica.....	11
3.4. Inóculo de microorganismos y evaluación de su eficacia en la degradación de la materia orgánica.....	13
3.5. Objetivos.....	14
4. Materiales y métodos.....	15
4.1. Diseño experimental.....	15
4.2. La unidad experimental.....	16
4.3. Producción de microorganismos autóctonos en fase sólida.....	16
4.4. Aportes de materia orgánica (MO) durante el compostaje.....	17
4.5. Parámetros analizados durante el proceso en campo.....	18
a) Volumen.....	18
b) Temperatura.....	19
4.6. Parámetros analizados tras el proceso en campo.....	19
a) Pesos de materia orgánica y rendimiento del compost cribado.....	19
b) Porcentaje de humedad.....	20
c) Peso específico.....	20
d) Análisis de granulometría.....	20
e) Análisis de estabilidad con solvita.....	21
f) Análisis de estabilidad con metodología de autocalentamiento.....	21
g) Análisis de pH y conductividad eléctrica (CE) en pasta saturada.....	22
h) Análisis químicos y biológicos realizados por Mancomunidad de Pamplona.....	22
5. Resultados y discusión.....	23
5.1. Parámetros analizados durante el proceso en campo.....	23
a) Volumen.....	23
b) Temperatura.....	24
5.2. Parámetros analizados tras el proceso en campo.....	32
a) Pesos de materia orgánica y rendimiento del compost cribado.....	32
b) Porcentaje de humedad.....	33
c) Peso específico.....	34
d) Análisis de granulometría.....	35
e) Análisis de estabilidad con solvita.....	36
f) Autocalentamiento.....	37
g) Análisis de pH y conductividad eléctrica en pasta saturada.....	38
h) Análisis químicos y biológicos realizados por Mancomunidad de Pamplona.....	39
6. Conclusiones.....	42
7. Bibliografía.....	44
8. Anexos.....	47
8.1. Anexo 1, Aportes de materia orgánica a los compostadores.....	47
8.2. Anexo 2. Parámetros analizados durante el proceso en campo.....	48
a) Volumen.....	48
b) Temperatura.....	49
8.3. Anexo 3. Parámetros analizados tras el proceso en campo.....	54
a) Pesos de materia orgánica y rendimiento del compost cribado.....	54
b) Porcentaje de humedad.....	55

c)Peso específico.....	56
d)Análisis de granulometría.....	57
e)Análisis de estabilidad con metodología de autocalentamiento.....	58
f)Análisis de pH y conductividad eléctrica (CE) en pasta saturada.....	59
8.4.Anexo 4. Fotografías.....	61

Índice de tablas y figuras.

Figura 1: Comparativa de las variaciones de volumen para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	23
Figura 2: Evolución de la temperaturas medidas a tres alturas diferentes a lo largo del proceso de compostaje para el tratamiento con lombrices.....	24
Figura 3: Evolución de la temperaturas medidas a tres alturas diferentes a lo largo del proceso de compostaje para el testigo sin volteo.....	25
Figura 4: Evolución de la temperaturas medidas a tres alturas diferentes a lo largo del proceso de compostaje para el tratamiento con microorganismos autóctonos.....	25
Figura 5: Evolución de la temperaturas medidas a tres alturas diferentes a lo largo del proceso de compostaje para el testigo con volteo.....	26
Figura 6: Evolución de la temperaturas medias de cada tratamiento a lo largo del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	27
Figura 7: Comparativa de la evolución de la temperaturas medias a lo largo del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L) y testigo sin volteo (SV).....	28
Figura 8: Comparativa de la evolución de la temperaturas medias a lo largo del proceso de compostaje para los tratamientos con volteo (V) y testigo sin volteo (SV).....	29
Figura 9: Comparativa de la evolución de la temperaturas medias a lo largo del proceso de compostaje para los tratamientos con microorganismos autóctonos (MA) y testigo con volteo (V).....	30
Figura 10: Comparativa de la evolución de la temperaturas medias de cada tratamiento a lo largo del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV) con la temperatura ambiente medida para esas fechas.....	31
Figura 11: Comparativa de la eficacia en la reducción de la materia orgánica inicial al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	32
Figura 12: Comparativa de los porcentajes de materia degradada, rechazo y producto final al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	33
Figura 13: Comparativa de los porcentajes de humedad al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	33
Figura 14: Comparativa entre los pesos específicos al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	34
Figura 15: Resultados del análisis granulométrico al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	35
Figura 16: Comparativa de los porcentajes del tamaño de partículas al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	36

Tabla 1: Resultados del test de estabilidad con solvita para tres repeticiones de los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)....	36
Figura 17: Comparativa de las temperaturas obtenidas en el test de autocalentamiento para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	37
Figura 18: Comparativa entre el pH medido en pasta saturada al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	38
Figura 19: Comparativa entre la conductividad eléctrica medida en pasta saturada al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	38
Tabla 2: Medias de los resultados obtenidos en los análisis realizados por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	39
Tabla 3: Medias de los resultados obtenidos en los análisis sobre nutrientes y metales pesados realizados por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	40
Tabla 4: Límites de concentración (mg/Kg) de metales pesado permitidos en el compost y su categoría resultante según el Real Decreto 824/2005 del 8 de julio sobre productos fertilizantes..	41
Tabla 5: Análisis de inocuidad realizado por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona sobre una muestra para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV).....	41

1. RESUMEN.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar las posibles ventajas en el proceso de compostado mediante la utilización de compostadores domésticos y la aplicación de inóculos de microorganismos y lombrices rojas californianas. Para ello se diseñó un experimento compuesto por cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno: inóculo de lombrices *Eisenia foetida* y manejo sin volteo, inóculo de microorganismos autóctonos con volteo, testigo sin volteo y testigo con volteo. Se utilizaron compostadores plásticos desmontables de 320 L de capacidad cedidos por la Mancomunidad de Pamplona y fueron llenados con la materia orgánica obtenida en un mercadillo de productos agrícolas de Barañain. El proceso de compostaje se prolongó a lo largo de 13 semanas durante las cuales se controlaron parámetros como la temperatura y volúmenes aportados y resultantes. Al final del proceso todas las muestras fueron cribadas y sometidas a distintos análisis físicos, químicos y biológicos. Entre los resultados obtenidos destaca un incremento estadísticamente significativo del desarrollo inicial de temperatura en los tratamientos con microorganismo, mientras que el tratamiento con lombrices presentó problemas de establecimiento de población que obstaculizaron la apreciación de resultados concretos. Por último, se pudo comprobar una reducción del volumen de la materia orgánica aportada a los compostadores en torno a un 80%. Esto evidencia la importancia y beneficios resultantes de la utilización de este tipo de técnicas para la reducción de los residuos orgánicos urbanos.

2. INTRODUCCIÓN.

Según datos de la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona en 2013 se produjeron 134.416 toneladas de residuos de las cuales 50.119 toneladas (37,3%) se corresponden a la fracción de materia orgánica. Conscientes de la importancia del compostaje doméstico, como alternativa para resolver el problema de los residuos orgánicos generados en las áreas urbanas, la Mancomunidad de Pamplona ha venido desarrollando un programa para sumar familias en el manejo de sus desechos orgánicos. Su estrategia ha consistido en distribuir a las familias interesadas en este tipo de manejo, de los residuos orgánicos, de diferentes modelos de unidades para el compostaje doméstico. Este estudio fue realizado con la intención de dar recomendaciones técnicas sobre el manejo adecuado de dichas unidades. Para ello se analizaron los efectos del inóculo de un acelerador biológico de fabricación casera compuesto por microorganismos, así como la introducción de la lombriz roja californiana *Eisenia foetida*.

La aplicación de preparados de microorganismos como aceleradores de la degradación de materia orgánica durante el proceso de compostaje es una práctica que se utiliza en diversos sistemas agropecuarios alrededor del mundo, existiendo incluso marcas comerciales que se venden para acelerar procesos de compostaje y reducir los posibles problemas de mal olor en el manejo de desechos orgánicos. Para la elaboración del presente estudio la producción del inóculo con microorganismos fue realizada mediante la colecta de sustratos que estuvieran siendo degradados por microorganismos en ecosistemas silvestres no alterados por el hombre, en este caso mantillo del valle de Ulzama. Posteriormente se colocaron en un sustrato que proporcionase una elevada calidad nutricional para su multiplicación y posterior utilización como inóculo. Este sustrato presenta diferentes nichos ecológicos para favorecer el establecimiento y rápida multiplicación de las unidades formadoras de colonias de las múltiples especies de microorganismos saprófitos colectados. La introducción y efectos de este inóculo en los compostadores será estudiado en este proyecto. Otro factor estudiado en este trabajo fue la aplicación de lombriz Roja Californiana, muy conocida por sus potencialidades en el manejo de los desechos orgánicos. A causa de sus limitaciones y exigencias alimenticias se realizaron observaciones de sus efectos sobre la materia orgánica al ser introducidas en las composteras urbanas sin realizar ningún manejo.

El principal objetivo de la presente investigación es el análisis de la respuesta de la materia orgánica compostada a la aplicación de estos inóculos, tanto de las lombrices como de preparado de microorganismos. De esta manera, determinar si el inóculo de estos microorganismos realmente tiene efectos sobre el tiempo de degradación o reduce la emisión de gases pestilentes, entre otros parámetros, constituye un área de investigación muy interesante que podrá permitir dar recomendaciones sobre su uso. Así mismo lo es determinar si la utilización de lombrices puede tener un impacto positivo frente al manejo sin volteo de los compostadores domésticos. La aplicación de *Eisenia foetida* podría suponer una disminución significativa en cuanto a la necesidad de la realización de volteos de la materia orgánica para su aireación.

3. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS.

En este capítulo se presentaran los antecedentes teóricos tales que permitan orientar la discusión y posterior análisis de los resultados de este estudio. Estos antecedentes se han dividido en los cuatro apartado principales expuestos a continuación:

- Descripción inicial del proceso de compostaje.
- Exposición de los fundamentos básicos de la importancia de la temperatura en el proceso de compostaje y su relación con las distintas formas de manejo tratadas.
- Investigaciones existentes en relación a inóculos de microorganismos en el proceso de compostaje.
- Investigaciones que comparan el compostaje tradicional con la utilización de lombrices.

3.1. *Proceso de compostaje.*

El compostaje es una tecnología de bajo coste que permite transformar residuos y subproductos orgánicos en materiales biológicamente estables que pueden utilizarse como enmendantes, abonos del suelo y como sustratos para cultivo sin suelo, disminuyendo el impacto ambiental de los mismos y posibilitando el aprovechamiento de los recursos que contienen.

Se define como un proceso biooxidativo controlado. Se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, debido a la actividad secuencial de una gran diversidad de microorganismos. Implica el desarrollo de una fase termofílica, siendo productos de la biodegradación el dióxido de carbono, agua, minerales y una materia orgánica estabilizada denominada compost, con ciertas características húmicas y libre de compuestos fitotóxicos y agentes patógenos (Zucconi y de Bertoldi, 1987)

Lo anteriormente definido significa que el proceso de compostaje:

- Es oxidativo y biológico, lo que diferencia al compostaje de otros tratamientos de tipo físico o químico, desarrollándose una actividad principalmente aeróbica.
- Es controlado, lo que indica la necesidad de una monitorización y control de parámetros durante el desarrollo del mismo, diferenciándolo de los procesos naturales no controlados. Parámetros tales como la temperatura, humedad y oxigenación, junto a la definición previa de la composición del sustrato, inciden enormemente en el desarrollo del proceso.
- Tiene lugar sobre sustratos orgánicos en fase sólida, generalmente heterogéneos, que actúan como soporte físico, matriz de intercambio, fuente de nutrientes y agua necesarios para el metabolismo microbiano, aporta microorganismos endógenos, retiene los residuos metabólicos generados durante su desarrollo y actúa como aislante térmico del sistema (Finstein y Hogan, 1993)

- Se desarrolla a través de una fase termofílica, en la que se registra una fuerte liberación de energía calorífica que eleva la temperatura, principal indicador de la dinámica del proceso, de forma que una lenta o escasa elevación de la misma debe interpretarse como un desarrollo no favorable de éste. Estas temperaturas termofílicas, superiores a 40 °C, que se producen en las primeras etapas del compostaje, disminuyen posteriormente durante la llamada fase de estabilización.
- Genera temporalmente sustancias fitotóxicas, siendo la producción generalmente menor y menos duradera con sustratos heterogéneos y bajo condiciones claramente aeróbicas. Una fitotoxicidad persistente durante el compostaje, indica un deficiente desarrollo del proceso, generalmente atribuible a insuficiente oxigenación.
- Libera dióxido de carbono y agua a la vez que se generan sustancias minerales, como principales productos de la biodegradación. Idealmente, los productos finales de un sistema de compostaje bien manejado son dióxido de carbono, vapor de agua, calor, materia orgánica estabilizada y amoníaco, aunque la proporción de éstos varía con la disponibilidad de carbono y nitrógeno en el residuo y con las condiciones en que se desarrolla el proceso en cada etapa del mismo (Keener y col., 1993)

3.2. Temperatura a lo largo del proceso de compostaje y su relación con los microorganismos.

Se sabe, Tuomela *et al.* (2000), que en condiciones óptimas el proceso de compostaje pasa a través de cuatro fases :

1. Fase mesófila; en la cual la intensiva actividad bacteriana actúa sobre los compuestos de la materia orgánica más fácilmente biodegradables lo que conlleva un aumento de temperatura.
2. Fase termófila; cuando la pila de compost alcanza una temperatura que se mantiene por encima de los 60 °C debido a la actividad de microorganismos capaces de digerir las más complejas e insolubles moléculas de la materia orgánica tales como proteínas, grasas y el complejo de los hidratos de carbono.
3. Fase de enfriamiento; en la cual las moléculas de materia orgánica más fácilmente biodegradables han sido degradadas, lo que conlleva una disminución de la actividad microbiana y la temperatura.
4. Fase final de maduración; que se produce a temperatura ambiente. Es el momento cuando se produce la humificación del compost.

Según Marmo (2002) las temperaturas aceptables para alcanzar la adecuada higienización en pilas de compost son: 55 °C durante dos semanas con cinco volteos o 65 °C durante una semana con 2 volteos. Así la temperatura es uno de los parámetros más importantes a controlar para obtener un compost libre de patógenos.

En un estudio realizado por Raut *et al.* (2007) se determinó un incremento en la temperatura alcanzada durante el proceso de compostaje en los tratamientos a los cuales añadieron variantes de glucosa, aireación, ácido acético y microorganismos.

Nakai *et al.* (2004) estudiaron el efecto sobre las temperaturas de la aplicación de un aditivo comercial microbiológico. Los resultados mostraron que dicho aditivo resultó efectivo, en su aplicación sobre estiércol de ganado, ya se registró un aumento más rápido de las temperaturas tanto el inicio del proceso de compostaje como tras el primer volteo.

3.3. Vermicompost y evaluación de su eficacia en la degradación de la materia orgánica.

Las principales responsables del acondicionamiento del suelo en los campos de cultivo son las lombrices, cuya actividad tiene un impacto directo sobre el aumento de superficie para la actividad microbiana. Además la presencia de lombrices modificada significativamente la actividad de los microorganismos del sustrato (Domínguez, 2004)

Salinas Vasquez *et al.* (2014) evaluaron la calidad química del humus producido por la lombriz roja californiana elaborado a partir de cuatro compost preparados con diferentes desechos orgánicos. Se trabajó con cuatro tratamientos: T0 (suelo 100%); T1 (compost tomate: pimentón); T2 (restos frescos de tomate-pimentón: suelo); T3 (compost plantas ornamentales Ficus) y T4 (compost olivo: tomate). Cada tratamiento se caracterizó químicamente al iniciar el proceso y después de tres meses. Los parámetros químicos iniciales de los sustratos evaluados fueron adecuados para el desarrollo y reproducción de la lombriz roja californiana. En este experimento la materia orgánica aumentó en todos los tratamientos excepto en T2. En el tratamiento T0, aun cuando no se aportó material vegetal, el incremento fue de 114 %, debido a la acción de *E. foetida* y al incremento en la biomasa microbiana (Aria y Domínguez, 2010). En los otros tratamientos el incremento fue variable, debido a que el material con el que se preparó el sustrato posee características diferentes. El T2 incluyó materia orgánica no estabilizada, registrando una pérdida de 14 %, debido a que esta materia orgánica fresca se descompone con rapidez en formas inorgánicas simples, mineralizándose (Yague, 1999)

Mamani-Mamani *et al.* (2012) evaluaron el comportamiento de la lombriz roja en dos ambientes que denominaron Carpa Solar (CS) y Ambiente Natural (AN) utilizando como sustrato dos tipos de residuos sólidos orgánicos (Estiércol Vacuno = EV y Restos de Cocina = RC) El mayor número de cápsulas (cocones) se obtuvo en el ambiente CS siendo para EV de 64 y RC de 41 cápsulas. En cuanto al porcentaje de eclosión, en el ambiente CS se registró 100% de eclosión en EV y 96% en RC. Por consiguiente, el mayor número de lombrices nacidas ocurrió en el ambiente CS, siendo 2 lombrices por cápsula para EV y 3.5 lombrices por cápsula para RC. La mayor tasa de crecimiento de lombrices inmaduras (no cliteladas) se presentó en el ambiente CS resultando para EV de 123 individuos y RC de 16 lombrices. Por lo tanto, la menor tasa de mortalidad entre ambientes se produce en ambiente CS con 3.90% de mortalidad para EV y RC con 88.64%. Estas diferencias se pueden atribuir a las diferentes condiciones ambientales que se tienen entre ambos tratamientos donde para CS el promedio fue de 26.37 °C en cuanto que en AN 17.81°C. Por lo tanto en AN, probablemente las bajas temperaturas afectaron el apareamiento de las lombrices y por lo tanto la probabilidad de fecundación y puesta de huevos, conforme indican Reinecke & Viljoen (1990)

Singh y Sharma (2002) llevaron a cabo una investigación para probar la viabilidad de un sistema integrado de compostaje con inóculos de microorganismos y lombrices, demostrando que se puede acelerar la degradación de residuos lignocelulósicos, en especial durante el invierno. El sistema integrado de compostaje estaba constituido por inóculos de determinados microorganismos en diferentes combinaciones, seguido de una etapa de vermicompostaje sobre paja de trigo. Estos tratamientos con microorganismos se desarrollaron durante los primeros 40 días y seguidamente se efectuó el vermicompostaje de 30 días. De entre los resultados obtenidos destacan:

1. El análisis químico de las muestras evidenció una disminución significativa en el contenido de la celulosa, hemicelulosa y lignina durante la descomposición en los tratamientos con inóculos y vermicompostaje.
2. El contenido de N, P, K aumentó considerablemente durante el proceso de degradación con microorganismos evidenciándose que la mejor calidad de compost se obtuvo cuando se aplicó el inóculo que integraba las cuatro cepas de microorganismos seguido de la etapa de vermicompostaje.

Además los resultados indican que la combinación de los sistemas evaluados fue muy eficiente en la reducción de tiempo para finalizar el proceso de compostaje.

Un estudio realizado por Vivas *et al.* (2009) ha demostrado la efectividad de la presencia de las lombrices y su influencia en el establecimiento de una fauna de microorganismo efectiva en tratamientos de degradación de MO. En dicho estudio se evaluó el impacto de dos tecnologías de reciclaje, compostaje ordinario y vermicompostaje, utilizando desechos orgánicos tóxicos. La investigación determinó que ambas tecnologías de reciclaje eran eficaces en la activación de los procesos de los microorganismos sobre los desechos pero el vermicompostaje logró producir la mayor diversidad bacteriana, las mayores poblaciones bacterianas y la mayor diversidad de microorganismos. El estudio determinó que cada tecnología modificó notablemente y diversificó las comunidades microbianas respecto a las originales presentes en los residuos.

La calidad del sustrato alimenticio utilizado para el establecimiento de sistemas de vermicompostaje influye en el tamaño de las poblaciones de lombrices y en sus tasas de crecimiento y reproducción. Aira *et al.* (2006) estudió el efecto de la relación C/N de purines de cerdo utilizados para alimentar lombrices y su relación con la biomasa microbiana, la actividad, el crecimiento y la reproducción de *Eisenia foetida*. Se comprobó que la relación más baja (C/N) afectó significativamente el número de lombrices y la estructura de la población, compuesta principalmente por lombrices maduras (60%) sugiriendo una reducción de los hábitos reproductivos. En la relación más equilibrada de C/N se observaron beneficios en la estructura debido a que la población estaba compuesta principalmente por jóvenes y crías (70%). Además se demostró que las lombrices producen un aumento sustancial en la biomasa microbiana.

Se evidencia un gran consenso sobre el impacto y beneficios que las lombrices proporcionan en los procesos de degradación de la materia orgánica, sobre todo cuando se trabaja en volúmenes de materia orgánica que dificultan alcanzar la fase termófila o cuando se trabaja en etapas posteriores. La lombricultura ha demostrado ser una alternativa viable (Vivas *et al.* 2009), siempre y cuando se proporcione un manejo adecuado para favorecer el nicho ecológico apropiado para el desarrollo de las poblaciones de lombrices.

3.4. Inóculo de microorganismos y evaluación de su eficacia en la degradación de la materia orgánica.

Durante el proceso de compostaje la eficiencia en la degradación de la materia orgánica depende principalmente de las comunidades de microorganismos presentes. Estos microorganismos degradan estos compuestos orgánicos mediante diferentes enzimas hidrolíticas, así como se cree que controlan la velocidad a la que los sustratos orgánicos son degradados. Mondini *et al.* (2004) destaca las siguientes: celulasas, despolimerasa celulasa, B-glucosidasa que hidroliza glucósidos, ureasa que participan en la mineralización del N, fosfatasas y arylsulfatasa que elimina los grupos de fosfato y de sulfatos de los compuestos orgánicos.

Un método utilizado para determinar la eficiencia en la biodegradación de la materia orgánica es la analítica de pirólisis. La técnica fue evaluada para validar su reproductibilidad y para evaluar la eficacia de un inóculo microbiano acelerador registrado como producto comercial (CBB). Dentro de los resultados obtenidos por Gonzáles (2008) se demostró la eficacia del producto acelerador, el producto bacteriano CBB aplicado a los compostadores favoreció la aceleración del proceso.

Paco *et al.* (2011) evaluaron la transformación de residuos orgánicos, restos de cocina (Rc), mediante métodos de compostaje y vermicompostaje. Los resultados en descomposición se obtienen en menor tiempo mediante el método vermicompostaje con tiempo de tres meses de un 98,33% mientras en compostaje fue de 3 meses con 3 semanas con un 90,40%. En cantidad, a partir de 1m³ de sustrato inicial se obtuvo un abono de 249.71 kg, 446.00 kg en compost y vermicompost respectivamente. La composición química de los abonos de Rc en N y P fueron tipificados como bajos, K alto, Ca en compost bajo y vermicompost medio, Mg medio, MO bajo y pH ligeramente alcalino o neutro en los dos métodos de obtención.

Una investigación llevada a cabo por Raut *et al.* (2007) para determinar la dinámica de microorganismos y las actividades enzimáticas durante el compostaje rápido de residuos sólidos urbanos reveló que la degradación de sustratos orgánicos fue acelerada (ente 9 y 12 días) alcanzando un ratio por debajo de 20 en la relación C / N. El compostaje normal tardó más de 20 días para alcanzar la relación C / N por debajo de 20. Utilizaron distintos tratamientos como la aireación, la adición de agentes químicos como glucosa y ácido acético, así como la aplicación de un inóculo microbiano especializado en la degradación de celulosa (*Phanerochaete chrysosporium* y *Trichoderma reesei*)

Shiho *et al.* (2008) investigaron el destino de los microorganismos inoculados procedentes de productos comerciales para utilizar en compostadores. Esto se logró mediante el uso de métodos de cultivo así como en un análisis de ADN. Ninguna de las especies de microorganismos identificados en las diferentes etapas del compostaje correspondió a los microorganismos identificados en el inóculo comercial. Los resultados en lo que respecta a los microorganismos predominantes en el inóculo evaluado no corresponden con los detectados en los procesos de compostaje. No se hallaron pruebas de que las especies predominantes en la inóculo llegasen a ser dominantes en el proceso de compostaje.

Vargas *et al.* (2007) realizaron investigaciones sobre inóculos bien caracterizados. Para ello utilizaron tres cepas microbianas: *Bacillus shackletonni*, *Streptomyces thermovulgaris* y *Ureibacillus thermosphaericus* las cuales fueron probadas por su potencial para mejorar la degradación de la lignocelulosa. Se utilizaron distintos residuos agrícolas como materia prima para conformar las pilas de compost. La investigación destaca que *U. thermosphaericus* fue el microorganismo más eficiente desde la que fue inoculado ya que redujo el contenido de lignina en un rango superior al de los otros tratamientos. Se concluyó que el proceso de compostaje puede ser mejoradas por medio de la inoculación si los microorganismos utilizados son los adecuados y que la utilidad de dicho inóculo en el compostaje depende de las condiciones del proceso, en particular de la interacción entre las características de las materias primas y del inóculo.

La aplicación de inóculos de microorganismos para mejorar los procesos de compostaje han sido un tema controvertido y estudiado con diferentes resultados. Por un lado investigaciones como las de (Finstein y Morris, 1975), (Lei y Vandergheynst, 2000), (Golueke *et al.* 1954 citado por Vargas *et al.* 2007) no muestran ningún efecto en la aplicación de estos tratamientos, mientras que otros estudios (Wani y Shinde, 1978 y Requena *et al.* 1996 citados por Vargas *et al.* 2007); (Raut *et al.* 2007) si muestran esos efectos positivos sobre el proceso de compostaje.

3.5. Objetivos.

El principal objetivo de esta investigación es analizar la respuesta de la materia orgánica compostada ante la aplicación de inóculos de microorganismos autóctonos y poblaciones de *Eissenia foetida* para determinar si se da alguna ventaja comparativa de cara al compostaje doméstico.

Así mismo se quiere estudiar el efecto de la aplicación del inóculo de microorganismos para intentar determinar si presenta algún efecto sobre la evolución de las temperaturas durante el proceso de compostaje.

También determinar si la utilización de lombrices puede tener un impacto positivo frente al manejo sin volteo de los compostadores domésticos. La aplicación de *Eissenia foetida* podría suponer una disminución significativa en cuanto a la necesidad de la realización de volteos de la materia orgánica para su aireación.

Evaluar posibles diferencias significativas en cuanto a indicadores físico, químicos y biológicos entre los distintos tratamientos estudiados para el compostaje doméstico.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. *Diseño experimental.*

El presente experimento consta de dos tratamientos y sus correspondientes testigos, conformado cada uno de ellos por cuatro repeticiones:

- Tratamiento con microorganismos autóctonos con volteo (MA)
- Testigo con volteo (V)
- Tratamiento con lombrices sin volteo (L)
- Testigo sin volteo (SV)

Por tanto el diseño se corresponde al de bloques al azar con 16 unidades experimentales.

- Tratamiento con microorganismos autóctonos con volteo (MA): cada uno de los cuatro compostadores fue inoculado con una cantidad inicial de 9 kg de lo que se denominó MA en fase sólida. Dicho aporte se realizó homogénea y uniformemente a los cuatro compostadores del tratamiento en el momento del volteo inicial. Los volteos se realizaron una vez por semana salvo el último mes, con dos volteos semanales.
- Testigo con volteo (V): Sin ningún tipo de inoculo y volteadas con la misma frecuencia que el tratamiento anterior.
- Tratamiento con lombrices sin volteo (L): cada una de los cuatro compostadores correspondientes a este tratamiento fue inoculado con 5 kg de *Eisenia foetida* en una relación 40% lombriz/sustrato. Este tratamiento recibió un único volteo a mediados del proceso.
- Testigo sin volteo (SV): Sin ningún tipo de inoculo y con un único volteo a mediados del proceso.

Cabe destacar que a todos los tratamientos se les agregó estructurante (en este caso corteza de pino) a mediados del proceso, correspondiendo con el momento del único volteo de los denominados tratamiento/testigo sin volteo.

4.2. La unidad experimental.

En este experimento la unidad experimental es el compostador. Se trata de compostadores plásticos desmontables de 320 L de capacidad cedidas por la Mancomunidad de Pamplona. Por sus características facilitan el manejo de la materia orgánica, introducción, extracción, aireación y volteo, así como previenen que aves y animales pudieran alimentarse de los desechos orgánicos frescos tratados.

Junto a los compostadores se proporcionó un tornillo sin fin para la realización de los volteos pertinentes según los distintos tratamientos.

4.3. Producción de microorganismos autóctonos en fase sólida.

El inóculo de microorganismos saprofitos ha de prepararse en un ambiente anaeróbico para que se produzca el proceso de fermentación deseado. Para ello se utilizó un barril plástico de 200 L de capacidad con cierre hermético.

Como fuente de microorganismos se cogió en un bosque en el valle de Ulzama un saco de mantillo, tomándolo de diferentes puntos del valle con el objetivo de obtener la mayor diversidad posible de microorganismos. En total se recogieron 40kg de mantillo.

Para desarrollar y multiplicar los microorganismos se preparó un sustrato para su crecimiento:

- 4 kg de azúcar diluida en 15 L de agua.
- 40 kg de salvado de trigo.
- 12 kg saco de carbón vegetal molido.
- 1 saco de serrín de madera blanca como fuente de lignina.
- Se añade el agua requerida para alcanzar una humedad cercana al 30%.

Estos componentes fueron mezclados homogéneamente previamente a la incorporación del mantillo. Todo ello fue introducido en el fermentador antes descrito durante un mes. Pasado ese plazo se habrían desarrollado, alimentándose de los sustratos aportados, gran cantidad de microorganismos (MA) listos para ser inoculados en los compostadores.

4.4. Aportes de materia orgánica (MO) durante el compostaje.

La duración del proceso de compostaje fue de 13 semanas y a lo largo de las 8 primeras se realizó 4 aportes de materia orgánica (MO) a los compostadores. Dicha materia se obtuvo de dos fuentes: el mercadillo de Barañain que proporcionó el principal aporte y en segundo lugar de la cafetería de El Sario de la Universidad Pública de Navarra. La MO obtenida del mercadillo fue trasladada a la finca de prácticas de la UPNA gracias a la colaboración de la Mancomunidad de Pamplona, los cuales no sólo proporcionaron el transporte para los desechos sino que también los pesaron. Esta MO fue triturada con una fresadora horizontal previamente a ser incorporada a los compostadores.

En total se recogieron 4160 kg de MO en peso fresco (PF) los cuales se aportaron en cuatro momentos diferentes.

- Primer aporte: 09 de febrero, 1390 kg.
- Segundo aporte: 16 de febrero, 1840 kg.
- Tercer aporte: 20 de marzo, 580 kg.
- Cuarto aporte: 02 de abril, 390 kg.
- Fin de proceso y cribado del compost: 18 de mayo.

Indicar que el día del último aporte se añadió un estructurante a cada compostador mediante un intenso volteo. Este aporte se realizó para favorecer la aireación al detectarse problemas en la temperatura que serán discutidos más adelante. El estructurante añadido fue corteza de pino en una cantidad e 580 kg de peso fresco que fueron repartidos de forma equitativa entre los 16 compostadores a razón de 36 kg cada una. El fin del proceso de compostaje se produjo el 18 de mayo, día en el que se tomaron por última vez las temperaturas y se realizó la criba de cada compostador. Posteriormente se continuó con el estudio de otros parámetros en el laboratorio que serán analizados más adelante en este trabajo.

Teniendo en cuenta la MO, inóculos y estructurante se aportó un total de 4794 kg de peso fresco. Como media cada compostador recibió 300 kg, aunque todos los aportes y el compost obtenido fueron medidos de forma independiente.

4.5. Parámetros analizados durante el proceso en campo.

Se han desarrollado multitud de métodos y parámetros para evaluar el grado de madurez de un compost, de entre los cuales se puede destacar:

- Cambio de las propiedades fisico-químicas (Jiménez y García, 1992)
- Métodos calorimétricos y espectroscópicos (De Oliveira *et al.* 2002), (Pietro y Castaldi, 2004), (Medina *et al.* 2009)
- Pruebas de germinación (Zucconi *et al.* 1985)
- Actividad enzimática (Vuorinen, 2000), (Mondini *et al.* 2004), (Raut *et al.* 2007)

En este trabajo se han integrado varias metodologías para la evaluación de la madurez y calidad del compost, con el objetivo de poder analizar y discutir los resultados de una manera más completa.

En los apartados siguientes se desarrollarán los distintos parámetros analizados así como la metodología para hacerlo.

Señalar que el análisis estadístico de los resultado obtenidos en este y los siguientes apartados se realizó con el programa Statistix 8.0.

a) Volumen.

Con el objetivo de determinar la eficacia en cuanto al a reducción de este parámetro en los distintos tratamientos, se realizó la medida de las variaciones de volumen en el momento de cada aporte de MO así como al final de proceso de compostaje.

Esta variación del volumen se midió para cada compostador de forma independiente según la pérdida de altura de la MO respecto al borde superior del mismo. La medición se hizo con una cinta métrica midiendo la distancia entre el centro de la MO dentro del compostador y la altura del borde del propio compostador.

b) Temperatura.

Este parámetro fue medido también de forma independiente para cada unidad experimental para así, al final del proceso del compostaje, poder analizar las posibles diferencias significativas entre tratamientos.

A lo largo de todo el proceso de compostaje y de forma sistemática tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes) y a la misma hora aproximada (14 h) se midió la temperatura en tres puntos diferentes de cada compostador.

- Punto inferior: situado en un orificio que tiene los compostadores a 17,5 cm sobre el suelo.
- Punto medio: situado a 42,5 cm sobre el nivel del suelo.
- Punto superior: situado en el centro superior de la MO dentro del compostador.

Para la toma de datos se utilizó un termómetro digital de espiga de 20 cm de largo.

4.6. Parámetros analizados tras el proceso en campo.

Como se indicó con anterioridad el proceso de compostaje tuvo una duración de 13 semanas, al final de la cuales se procedió a desmontar los compostadores y extender el contenido, lo cual se hizo sin mezclar el contenido de los distintos compostadores. De este forma se redujo el contenido de humedad antes de proceder al cribado que se realizó con un tamiz de 4 cm².

El que compost que pasó fue denominado producto final y el que no, fue considerado rechazo. A éste producto final se le realizaron, posteriormente, análisis en laboratorio para determinar la eficacia de los distintos tratamientos.

a) Pesos de materia orgánica y rendimiento del compost cribado.

A lo largo del proceso de compostaje toda la MO aportada fue pesada de forma individual en una balanza electrónica de 60 kg de capacidad llevándose un control de lo aportado a cada compostador.

Tras el cribado explicado en el apartado anterior se procedió al pesado tanto el producto final como del rechazo obtenido para cada compostador.

b) Porcentaje de humedad.

Para determinar el porcentaje de humedad se introdujo una muestra del producto final de cada compostador en una estufa de sacado. Se mantuvo a 80 °C hasta que se obtuvieron pesos constantes, momento en el que se consideró peso seco. El porcentaje de humedad se calculó para cada muestra con la siguiente fórmula:

- $\text{Porcentaje de humedad} = (\text{Peso fresco} - \text{peso seco} / \text{peso fresco}) \times 100$

c) Peso específico.

El peso específico (PE) es una medida de la densidad al darnos el peso de compost para un volumen determinado. Se calculó rellenando sin compactar un cilindro de 650 ml y pesando la cantidad utilizada.

- $\text{PE} = \text{masa} / \text{volumen}$

d) Análisis de granulometría.

El análisis de granulometría nos dice el porcentaje de agregados pertenecientes a distintas categorías de tamaños según los tamices utilizados. A tal efecto se tomó una muestra de cada compostador que se mantuvieron a 80 °C hasta obtener su peso seco, el cual fue anotados. Para la posterior criba se utilizaron cuatro tamices de distintos tamaños: 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, que se utilizaron consecutivamente en ese orden. El resultado obtenido para cada criba fue medido individualmente para cada criba y muestra. El porcentaje de gránulos correspondientes a cada fracción:

- $\% \text{ de cada fracción} = (\text{peso fracción} / \text{peso fresco}) \times 100$

e) **Análisis de estabilidad con solvita.**

Este análisis, que nos permite medir la emisión de CO₂ y NH₃, se realizó para una muestra de cada tratamiento. Previamente se comprobó las condiciones de humedad para cada muestra tomada mediante el “test del puño”. El proceso seguido fue el siguiente:

- Cada muestra se tamizó hasta un tamaño menor 8 mm.
- Se rellenaron los recipientes de solvita hasta la línea de llenado. Para ello se dejó caer la muestra mientras se golpeaba suavemente el vaso contra la superficie de apoyo.
- La muestra reposó dentro del vaso con la tapa quitada durante una hora.
- Se extrajeron las paletas (CO₂ y NH₃) de sus envoltorios y se introdujeron en el vaso hasta tocar la base del recipiente.
- Se cerró el bote dejándolo a temperatura ambiente durante cuatro horas y de tal modo que no recibiera luz solar de manera directa.
- Transcurridas las cuatro horas se extrajeron las paletas procediéndose a la comparación colorimétrica visual propia de el test solvita. Para ello se tomaron como referencia la escala de colores proporcionada por el kit solvita.
- Se consultó la tabla del kit solvita utilizando los resultados obtenidos. De esta forma se obtuvieron los índices de madurez del compost.
- De las 4 repeticiones efectuadas a cada tratamiento sólo se efectuó el análisis a 3 repeticiones y se excluyó la primera repetición.

f) **Análisis de estabilidad con metodología de autocalentamiento.**

Esta prueba permite conocer el grado de degradación de la MO, estabilidad, correspondiente a cada uno de los 4 tratamientos en base a la evolución de la temperatura de las muestras. Ha de realizarse en condiciones estándar de humedad y para esto se efectuó el “test de puño”. La prueba se hizo con el compost resultante del cribado según el siguiente procedimiento:

- Se tamizó la muestra hasta un tamaño menor a 8 mm y se introdujo en un Vaso Dewar.
- Durante las dos semanas siguientes se tomó la temperatura con un termómetro digital de espiga.
- La prueba finaliza cuando la temperatura alcanza un máximo y comienza a descender claramente.
- Como mínimo se tomaron dos medidas en un intervalo de 8 horas en un periodo de 24 horas. El periodo de toma de temperaturas fue de dos semanas (Brinton *et al.* 1992)

g) Análisis de pH y conductividad eléctrica (CE) en pasta saturada.

Para la medición del pH y la CE se preparó una pasta saturada con muestras de cada tratamiento. Esto se realizó mediante el siguiente procedimiento

- Se tomaron 60 gr de compost cribado (8 mm) en un tubo de precipitado.
- Se les agregó agua destilada lentamente y se fue amasando hasta obtener una pasta saturada sin excesos de humedad.
- Sobre la pasta resultante se procedió a la medición del pH y la CE.

h) Análisis químicos y biológicos realizados por Mancomunidad de Pamplona.

La colaboración de la Mancomunidad de Pamplona se extendió a la realización de análisis por parte de sus Laboratorios de Control de Saneamiento. El primer grupo de análisis lo realizaron con tres repeticiones para cada tratamiento aunque se descartaron las repeticiones número 1 de cada tratamiento. Los parámetros analizados fueron:

- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Materia seca.
- Materia volátil.
- Carbono orgánico.
- Nitrógeno por el método Kjeldahl.
- Relación C/N.

También se realizaron análisis de P, K, Ca, Mg, Na, Fósforo en P_2O_5 , Potasio en K_2O , Calcio en CaO, Magnesio en MgO, Fe, Al, Mg, Cd, Cu, Cr, Ni y Pb. Estos análisis para una repetición de cada tratamiento así como sus respectivos testigos.

Se hicieron también análisis de inocuidad para *Escherichia coli*, estos de forma aleatoria sobre 1 repetición de cada tratamiento y sus respectivos testigos.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Parámetros analizados durante el proceso en campo.

a) Volumen.

La reducción del volumen obtenida en los distintos tratamientos presentó diferencias al comparar los distintos tratamientos tal y como se muestra en la Figura 1:

- No se observaron diferencias significativas en la comparación entre el tratamiento con lombrices y el testigo sin volteos.
- Entre el tratamiento con microorganismos y el testigo con volteo se presentaron claras diferencias estadísticamente significativas.
- En la comparativa entre los testigos con y sin volteo también se apreciaron diferencias significativas.
- La reducción de volumen que mostró la comparativa entre el tratamiento con microorganismos y el testigo con volteo es la que mostró un mayor grado de significancia.

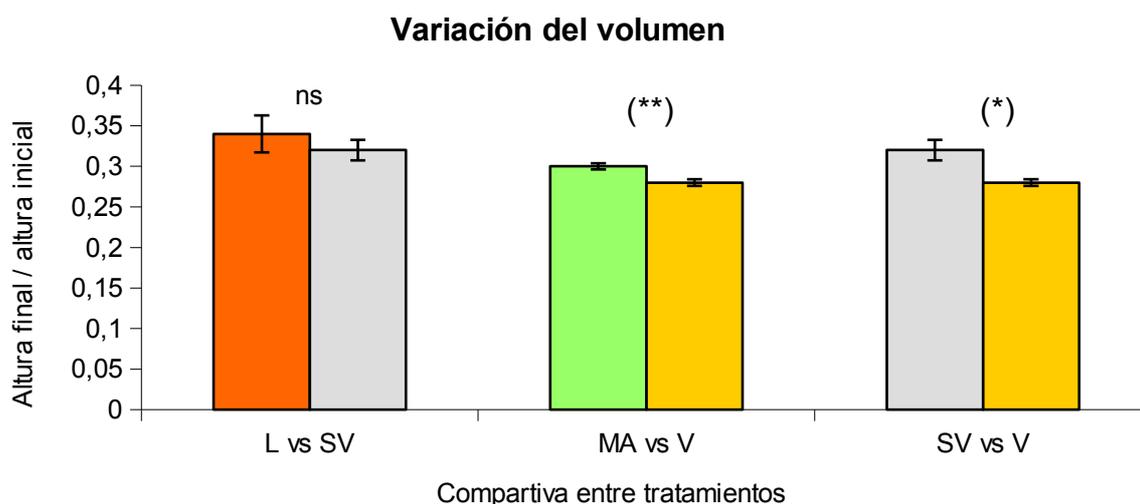


Figura 1: Comparativa de las variaciones de volumen para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

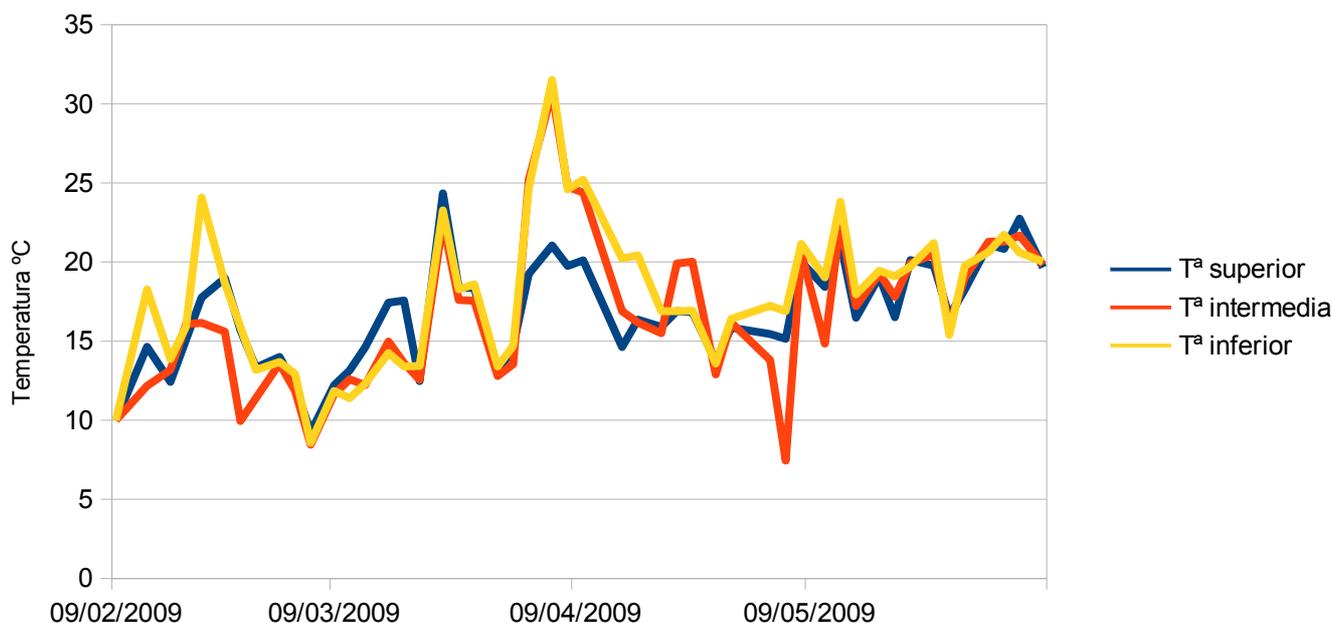


Figura 5: Evolución de la temperaturas medidas a tres alturas diferentes a lo largo del proceso de compostaje para el testigo con volteo.

Durante el proceso del compostaje la temperatura aumenta como consecuencia de la rápida metabolización de las estructuras moleculares de la materia orgánica. Este aumento puede alcanzar temperaturas de hasta 60-65 °C. Al ir progresando dicha degradación la materia se va estabilizado y la actividad microbiológica se ve reducida. Junto a dicha reducción de actividad la temperatura gradualmente disminuye hasta niveles ambientales lo cual marca el final de la fase termofílica (Tuomela *et al.* 2000).

Sin embargo en esta investigación el aumento de temperaturas que fue registrado alcanzó valores sensiblemente inferiores a los anteriormente señalados, alcanzando temperaturas máximas en torno a los 40 °C. Estos valores se dieron por una posible interacción de tres factores:

- Alta relación C/N.
- Falta de aireación por ausencia de estructurante.
- Masa crítica bastante pequeña.

Aunque no se alcanzaran las temperaturas esperadas, en el caso del tratamiento con microorganismos se puede observar un incremento de las temperaturas al inicio del proceso de compostaje. Este incremento resulta significativo si es comparado con el resto de tratamientos.

Esto puede ser apreciado en la figura 6 que presenta las temperaturas medias para cada tratamiento:

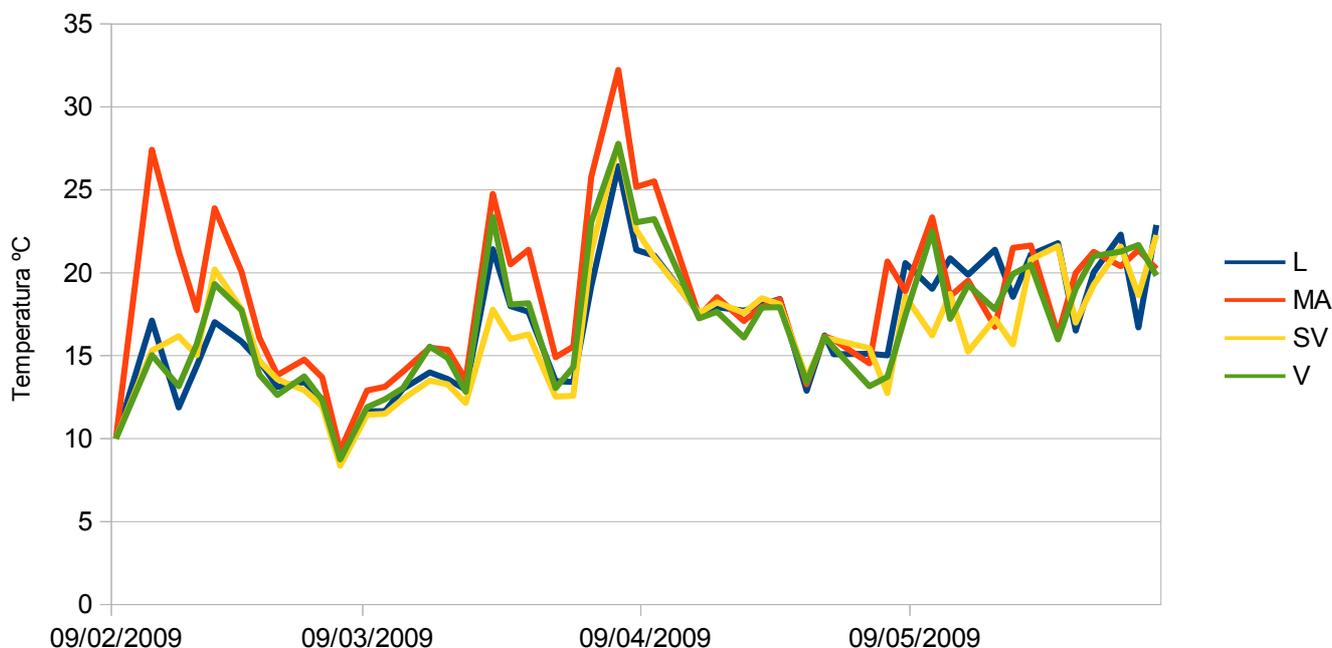


Figura 6: Evolución de la temperaturas medias de cada tratamiento a lo largo del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

El inóculo de microorganismos maduró en el fermentador a lo largo de un mes, degradando los nutrientes que se habían aportado, antes de aplicarse a la materia orgánica. Se puede suponer que su aplicación al compostador no supuso un aporte excesivo de nutrientes que pudiera falsear las lecturas y que por tanto el incremento de las temperaturas fue producido también por la actividad de los microorganismos inoculados. Sin embargo los posteriores aportes de materia orgánica no fueron acompañados por una variación significativa de la temperatura respecto a los otros tratamientos por lo que tampoco se puede concluir con seguridad que la variación de la temperatura registrada se correspondiera en exclusiva a la actividad de los microorganismos.

En la figura 7 se muestra que no se dieron diferencias significativas entre el desarrollo de las temperaturas del tratamiento con lombrices y el testigo sin volteo. Destacar que las temperaturas se mantuvieron por debajo de 25 °C a lo largo de la mayoría del proceso, lo cual evidencia un problema en su desarrollo.

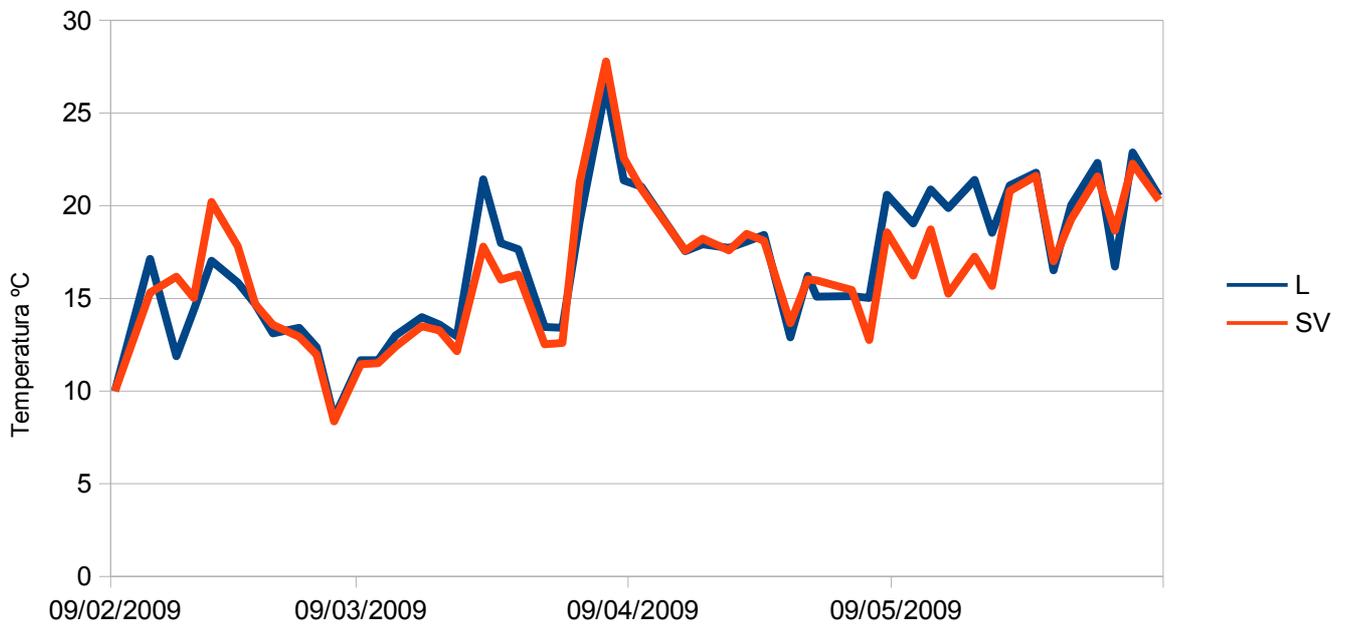


Figura 7: Comparativa de la evolución de la temperaturas medias a lo largo del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L) y testigo sin volteo (SV)

Tuomela *et al.* (2000) expone los efectos positivos de la aireación sobre la evolución de las temperaturas durante el proceso de compostaje. Sin embargo la comparación entre los testigos con y sin volteo, expuesta en la figura 8, tampoco muestran diferencias significativas entre ellos, por lo que no es posible evidenciar dicho efecto. En este caso la ausencia de efecto sobre las temperaturas de la aireación refuerza la tesis de que el incremento observado en el tratamiento con microorganismos se debe al inóculo, ya sea por aporte de nutrientes o por actividad microbológica, y no al volteo.

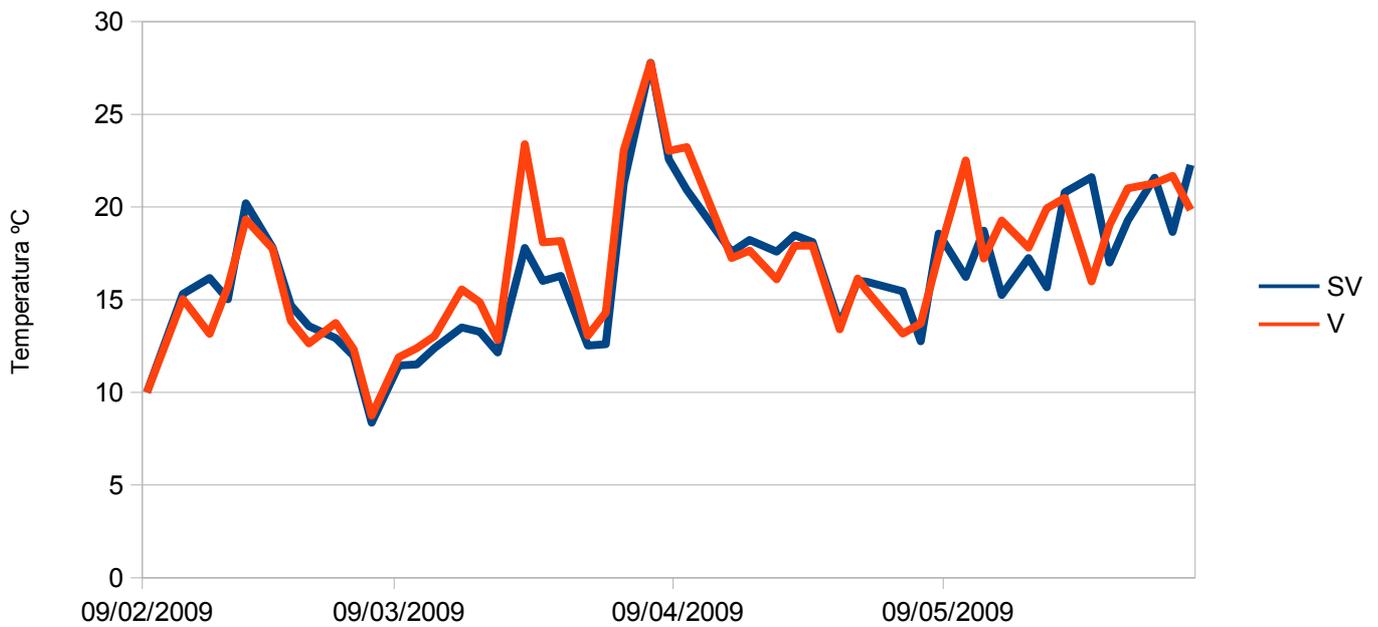


Figura 8: Comparativa de la evolución de las temperaturas medias a lo largo del proceso de compostaje para los tratamientos con volteo (V) y testigo sin volteo (SV)

Si se atiende a la comparación de las temperaturas obtenidas en los distintos tratamientos y testigos con la temperatura ambiental se puede observar como las primeras se mantuvieron por encima, evidenciando la actividad degradadora de los distintos microorganismos. Sin embargo conforme el proceso fue transcurriendo las temperaturas se fueron aproximando, lo que sugiere una reducción de actividad de degradación de la materia orgánica. Sin embargo esta aproximación de las temperaturas no fue completa, indicando que el proceso de humificación no se había completado. Esto se muestra en la figura 10.

Señalar por otro lado que el ensayo se inició en los meses más fríos del año con el efecto de inhibición que esto supone. A esto hay que sumarle la reducida masa que contenía cada compostador, siendo por tanto aún más influenciado por los factores ambientales.

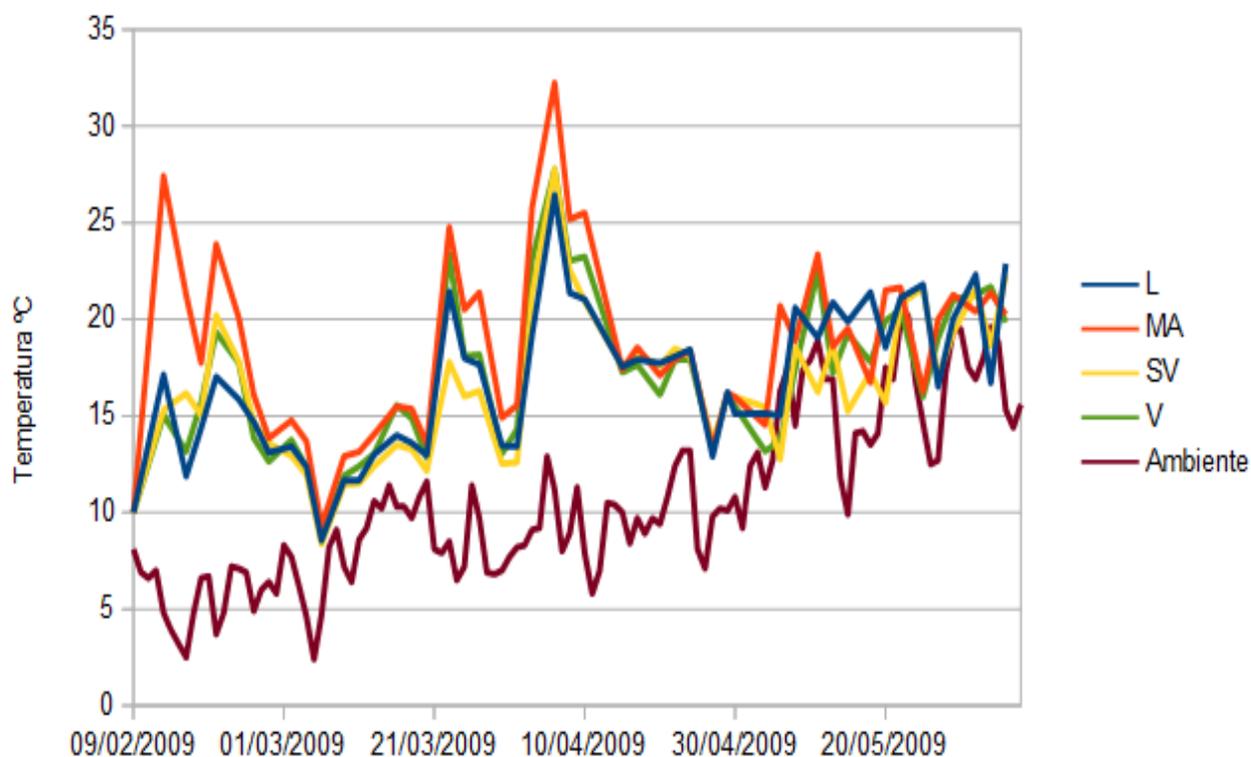


Figura 10: Comparativa de la evolución de las temperaturas medias de cada tratamiento a lo largo del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV) con la temperatura ambiente medida para esas fechas.

5.2. Parámetros analizados tras el proceso en campo.

a) Pesos de materia orgánica y rendimiento del compost cribado.

Al analizar los resultados obtenidos se puede observar una importante reducción en cuanto a la masa inicial de materia orgánica, alrededor de un 80% para todos los tratamientos y testigos. El denominado rechazo osciló en torno al 6,2 y 8,5% y el producto final ya compostado entre el 10,2 y 15,5%. Esto se aprecia en la figura 11.

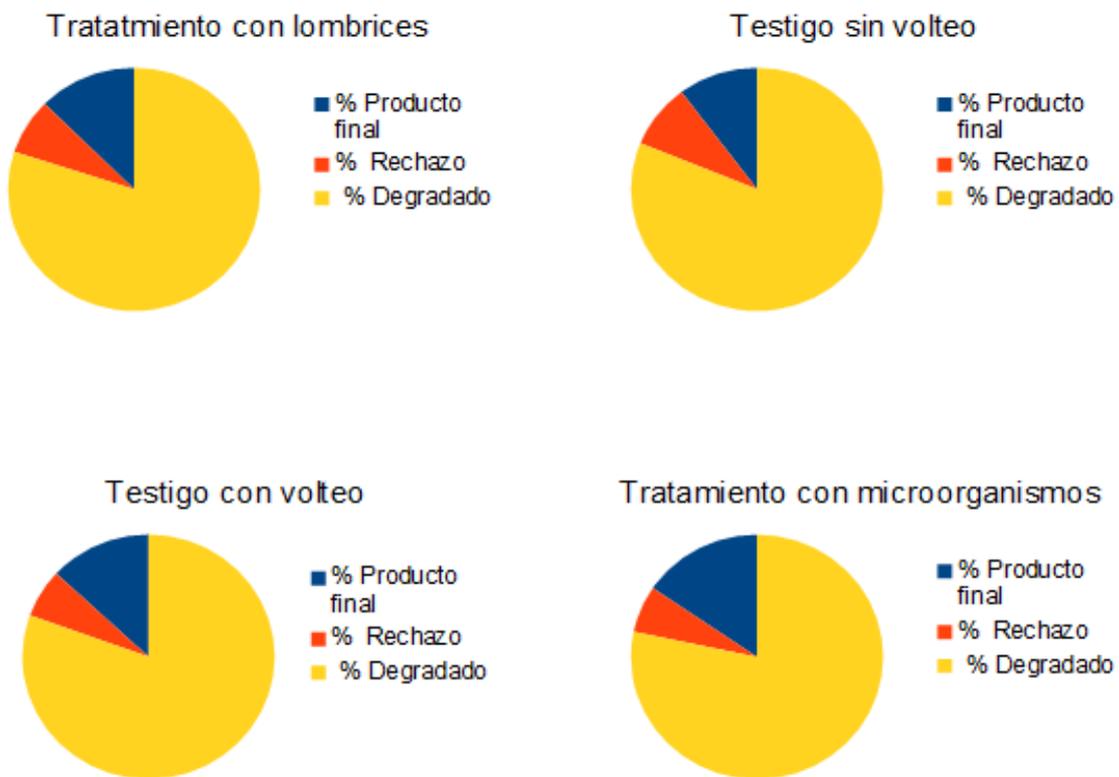


Figura 11: Comparativa de la eficacia en la reducción de la materia orgánica inicial al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

En la figura 12 se muestra una comparativa entre los distintos tratamientos y como el análisis estadístico no muestra diferencias significativas. Esto puede deberse a la adición, durante el proceso de compostaje, de materia estructurante (corteza de pino) que no fue degradada a causa de su alto contenido en lignina.

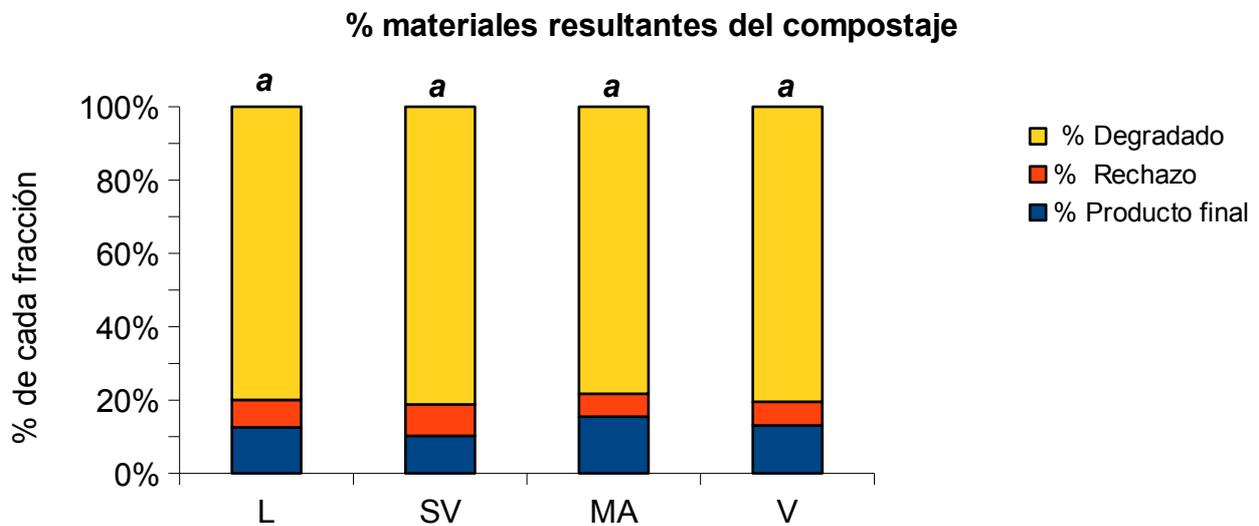


Figura 12: Comparativa de los porcentajes de materia degradada, rechazo y producto final al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

b) Porcentaje de humedad.

Los porcentajes de humedad obtenidos, mostrados en la figura 13, oscilaron entre el 35,12% para el testigo con volteo y 39,14% para el tratamiento con volteo. El análisis estadístico no arrojó diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

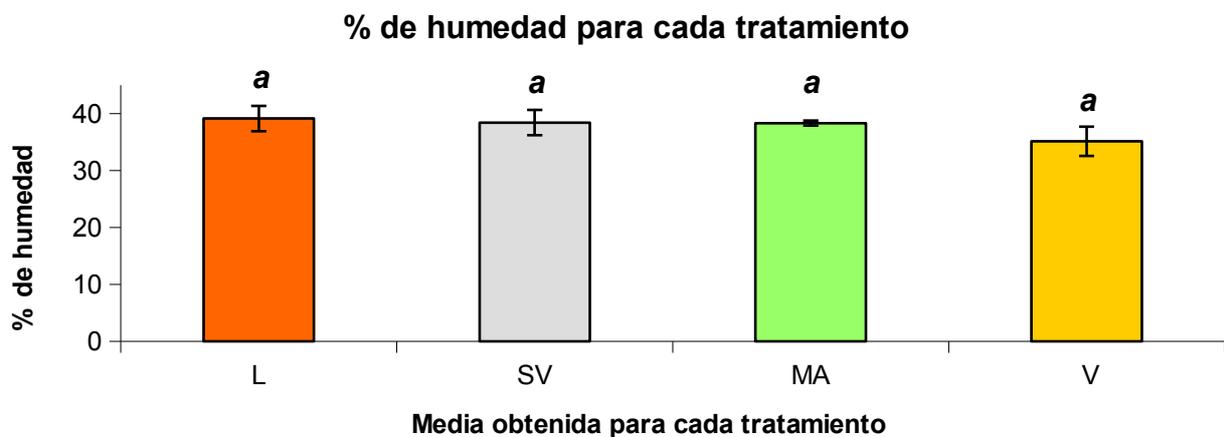


Figura 13: Comparativa de los porcentajes de humedad al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

El Real Decreto 824/2005 del 8 de julio establece un rango aceptable de humedad de entre el 30 y 40%. Atendiendo a los resultados obtenidos el compost producido en todos los tratamientos cumple con este requisito de calidad.

c) **Peso específico.**

Al analizar los resultados obtenidos se puede observar una leve superioridad en cuanto a este parámetro por parte del tratamiento con microorganismos, sin embargo el análisis estadístico no muestra diferencias significativas. Estos resultados se muestran en la figura 14.

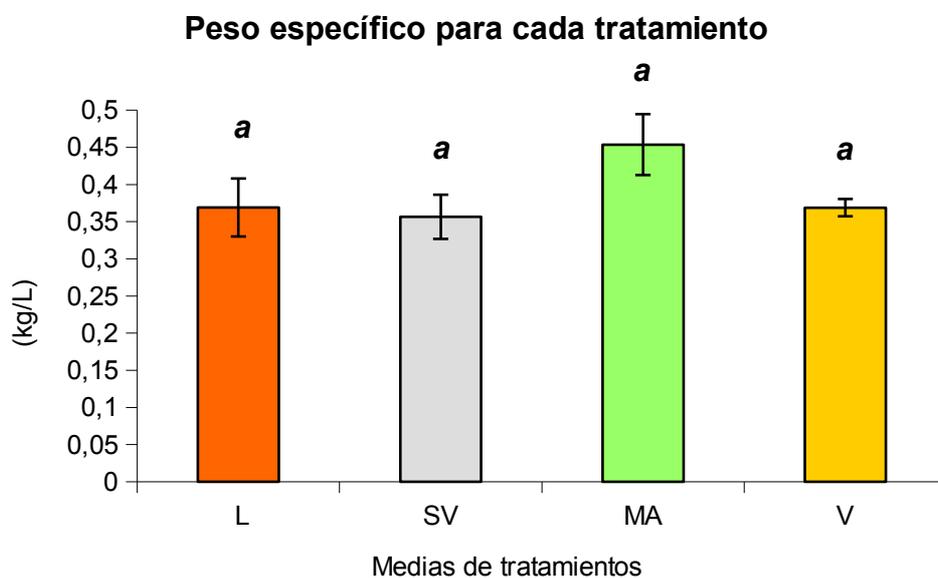
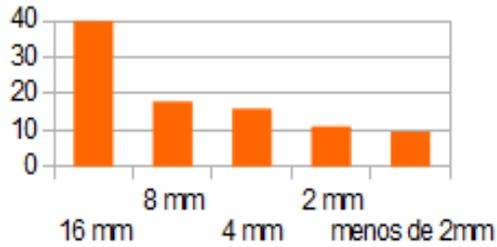


Figura 14: Comparativa entre los pesos específicos al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

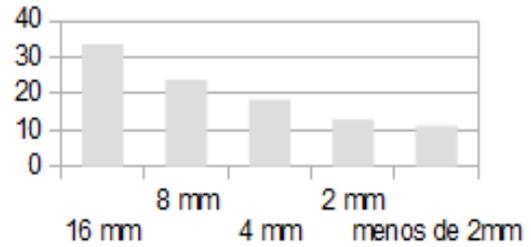
d) Análisis de granulometría.

En la figura 15 se presenta los resultados del análisis granulométrico para cada tratamiento y se puede comprobar como más del 50% del producto final tiene un tamaño de partícula inferior a 8 mm. Se puede concluir que pese a las bajas temperaturas obtenidas durante el proceso de compostaje el proceso de degradación se produjo de la forma deseada.

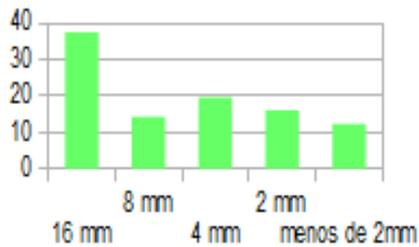
Granulometría tratamiento con lombrices



Granulometría testigo sin volteo



Granulometría tratamiento con microorganismos



Granulometría testigo con volteo

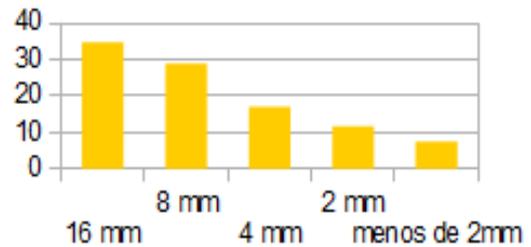


Figura 15: Resultados del análisis granulométrico al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

El análisis estadístico comparando los distintos tratamientos no mostró que hubiera diferencias significativas. Esto se muestra en la figura 16.

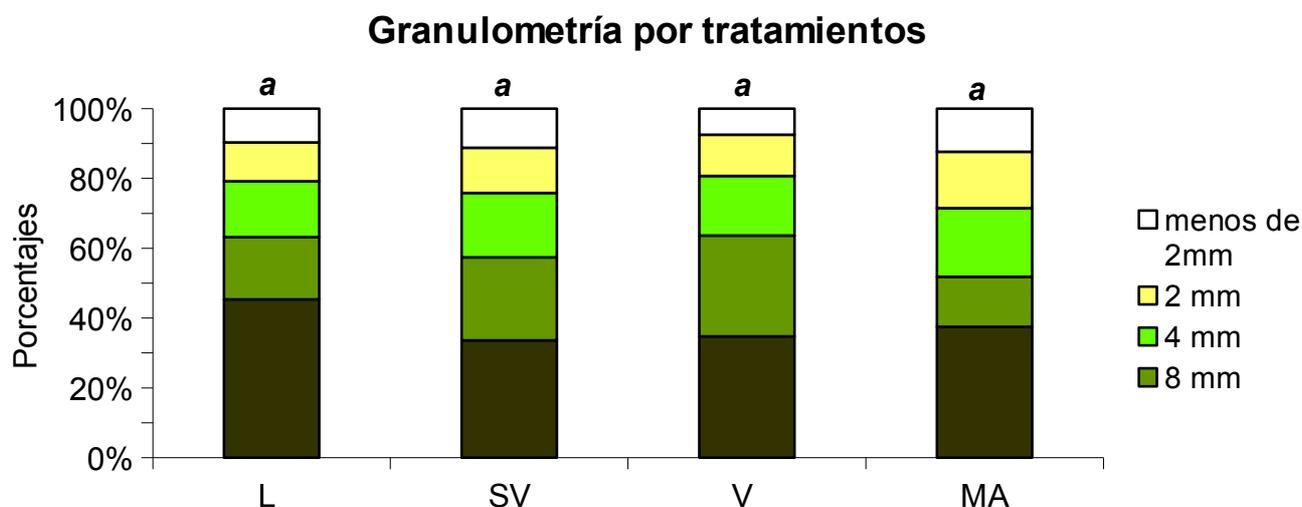


Figura16: Comparativa de los porcentajes del tamaño de partículas al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

e) Análisis de estabilidad con solvita.

Los análisis que se realizaron sobre las muestras con el test de solvita dieron como resultado, en la mayoría de los casos, emisiones de CO_2 y NH_3 tales que fueron catalogadas como activas o muy activas. El testigo sin volteo fue el que mostró un mayor grado de actividad (muy activo) mientras que los tratamientos con volteo (testigo y con microorganismos) dieron como resultado un menor grado de actividad. Para el caso del tratamiento con lombrices se obtuvo resultados más variables. Destacar que todos los tratamientos mostraron un grado de actividad tal que sugería que no se trataban de compost maduros ni estabilizados. Estos resultados mostrados en la tabla 1 concuerdan con la evolución de las temperaturas tal y como se expuso con anterioridad.

Tabla 1: Resultados del test de estabilidad con solvita para tres repeticiones de los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

	NH_3	CO_2	Índice de maduración	Categoría
L 2	5	6	6	Curado
L 3	5	4	4	Activo
L 4	5	3	3	Muy activo
SV 2	5	3	3	Muy activo
SV 3	5	3	3	Muy activo
SV 4	5	3	3	Muy activo
MA 2	5	4	4	Activo
MA 3	4	4	4	Activo
MA 4	5	3	3	Muy activo
V 2	4	4	4	Activo
V 3	4	4	4	Activo

f) Autocalentamiento.

El test de autocalentamiento dio como resultado una variación muy baja de las temperaturas, que oscilaron entre los 25 y 30 °C y sin diferencias significativas entre tratamientos. Este resultado, mostrado en la figura 17, es aparentemente incongruente con el obtenido en el apartado anterior, el cual indicaba que la actividad de degradación aun se mantenía.

Sin embargo hay que tener en cuenta que la temperatura tampoco alcanzó los valores esperados durante el proceso de compostaje. Se puede suponer por tanto que el problema pueda tener que ver con la composición de la materia orgánica utilizada en el ensayo.

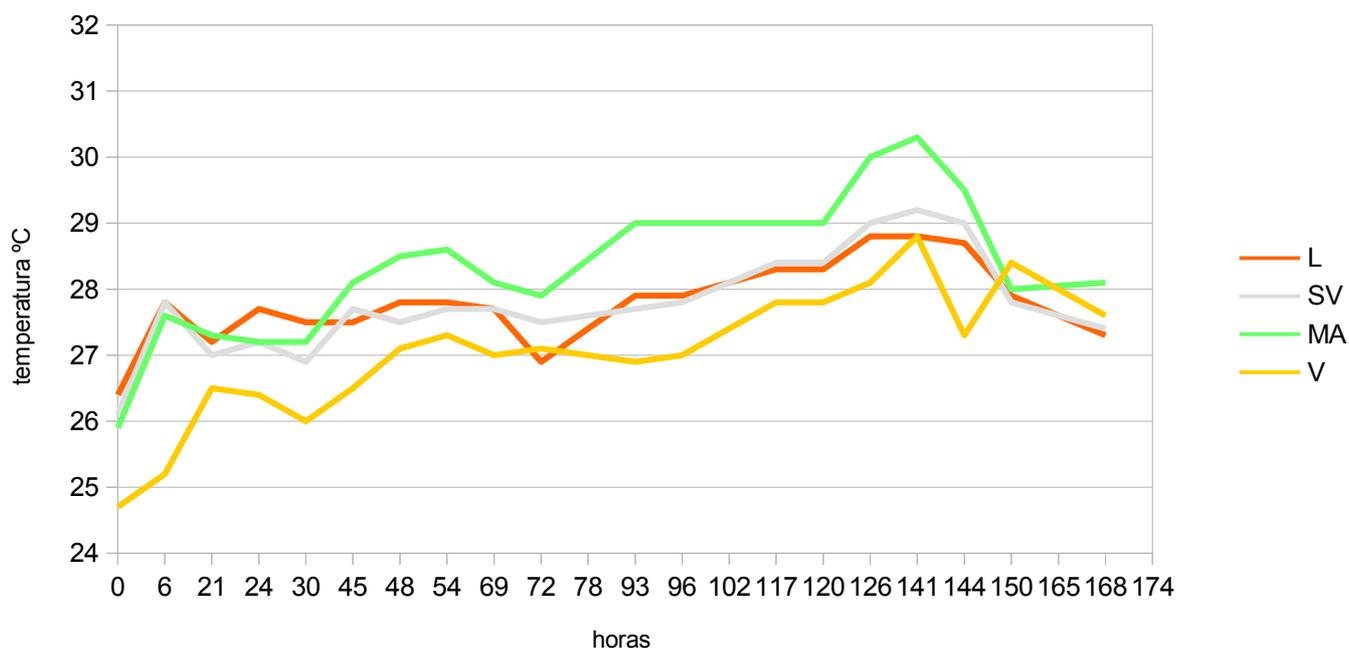


Figura 17: Comparativa de las temperaturas obtenidas en el test de autocalentamiento para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

g) Análisis de pH y conductividad eléctrica en pasta saturada.

La figura 18 muestra las lecturas medias obtenidas en la medición del pH en pasta saturada para cada tratamiento. Se puede observar que no presentan diferencias significativas. Se deduce por tanto que no se trata de un parámetro sobre el que los distintos tratamientos tengan un gran efecto.

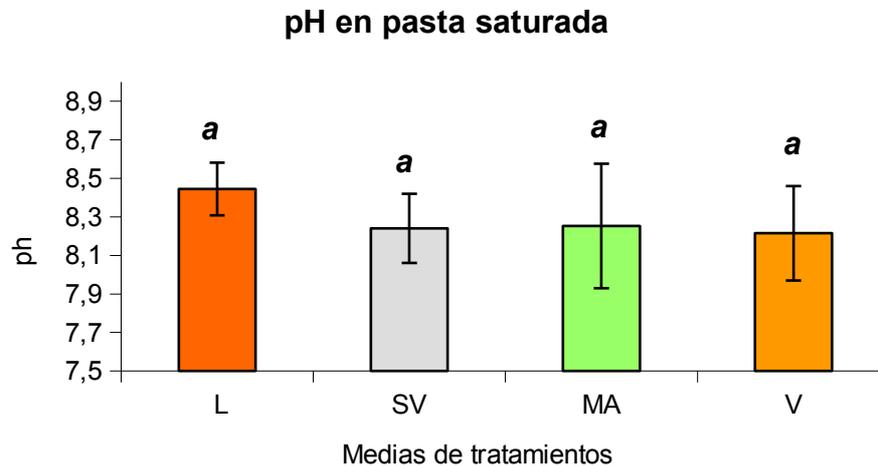


Figura 18: Comparativa entre el pH medido en pasta saturada al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

Si se atiende a los resultado obtenidos para el análisis de la conductividad eléctrica (CE) en pasta saturada, en concreto a la media realizada para cada tratamiento, se obtiene la figura 19:

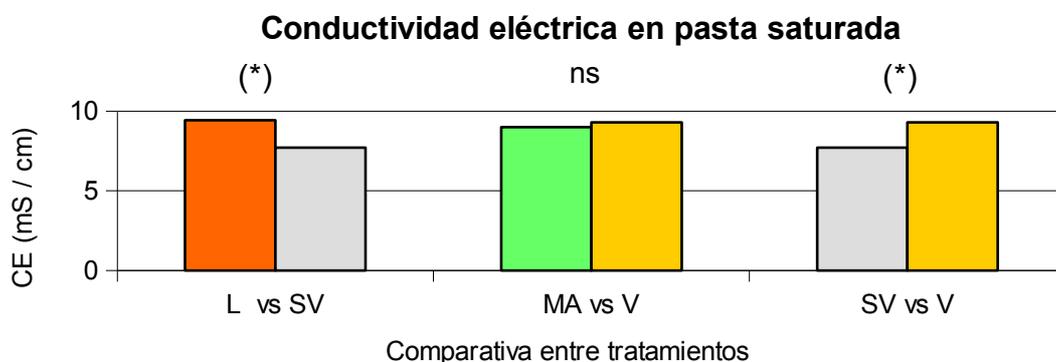


Figura 19: Comparativa entre la conductividad eléctrica medida en pasta saturada al final del proceso de compostaje para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

La comparativa entre el tratamiento con lombrices y el testigo sin volteos presenta una diferencia significativa, así como para la comparación entre los testigos con y sin volteo. El tratamiento con microorganismos y el testigo con volteo mostraron diferencias significativas en la medición de éste parámetro.

Se observa como el tratamiento que muestra una mayor diferencia en cuanto resultados fue el testigo sin volteo.

Se encuentra una discrepancia con los resultados obtenidos por Lazcano *et al.* (2008) ya que en ellos los tratamientos con lombrices presentaron una menos CE. Por ello estos resultados han de ser tomados con cautela.

h) Análisis químicos y biológicos realizados por Mancomunidad de Pamplona.

En la tabla 2 se presentan las medias de los resultados obtenidos para cada tratamiento de los análisis realizados por la Mancomunidad de Pamplona.

Tabla 2: Medias de los resultados obtenidos en los análisis realizados por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

Análisis	Media de los tratamientos			
	L	SV	MA	V
pH	8,67	8,33	8,10	8,17
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	5093,33	4483,33	5743,33	4383,33
Materia Seca (%MB)	77,97	84,53	82,53	88,90
Materia Volátil (%MS)	25,23	20,13	23,80	18,77
Carbono Orgánico (C/MS)	12,63	10,07	11,90	9,40
N por Kjeldahl (% N/MS)	1,53	1,20	2,13	1,07
Relación C/N	8,67	8,40	5,67	8,90

El Real Decreto 824/2005 del 8 de julio sobre productos fertilizantes proporciona los parámetros a tener en cuenta para valorar la calidad de un compost. Atendiendo a dichos parámetros se comprueba que la relación C/N, el porcentaje de materia seca/humedad y el porcentaje de materia volátil para todos los tratamientos se encuentran dentro de los márgenes exigidos. Se concluye que, pese a la bajas temperaturas obtenidas durante el proceso de compostaje, el producto obtenido cumple con los límites legales. Al analizar los resultado obtenidos para el pH obtenemos diferencias significativas entre el tratamiento con lombrices y el testigo sin volteo, siendo el primero más básico. Hay que tener en cuenta que las lombrices tienen glándulas calcíferas que actúan sobre el pH de su alimento neutralizándolo y este efecto se traslada al compost. Indicar también que al analizar los dos testigos, con y sin volteo, respecto al pH hay una leve diferencia entre los tratamientos siendo el del volteo sutilmente menor.

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos para el análisis nutricional y de metales pesados. Atendiendo a los nutrientes se puede concluir que los distintos tratamientos no han dado resultados significativamente distintos, siendo todos ellos adecuados para la utilización como fertilizante.

Tabla 3: Medias de los resultados obtenidos en los análisis sobre nutrientes y metales pesados realizados por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

	Análisis	L	SV	MA	V
	Fósforo (%P/MS)	0,30	0,23	0,32	0,23
	Potasio (%K/MS)	1,10	0,80	1,00	0,90
	Calcio (%Ca/MS)	5,40	4,50	4,20	4,00
	Magnesio (%Mg/MS)	1,60	1,70	1,50	1,70
	Sodio (%Na/MS)	0,70	0,50	0,60	0,50
	Fósforo (%P₂O₅/MS)	0,70	0,50	0,70	0,50
	Potasio (%K₂O/MS)	1,30	1,00	1,20	1,00
	Calcio (%CaO/MS)	7,50	6,30	5,90	5,60
	Magnesio (%MgO/MS)	2,60	2,80	2,50	2,80
	Hierro (Fe/MS)	2,70	3,00	2,60	3,00
	Manganeso (mgMn/KgMS)	333,00	348,00	321,00	308,00
	Aluminio (%Al/MS)	2,10	2,30	1,80	1,90
Metales pesados	Cadmio (mgCd/KgMS)	< 3	< 3	< 3	< 3
	Cinc (mgZn/KgMS)	72,00	61,00	78,00	66,00
	Cobre (mgCu/KgMS)	59,80	63,40	61,60	74,90
	Cromo (mgCr/KgMS)	100,00	112,00	59,30	133,00
	Níquel (mgNi/KgMS)	28,70	32,20	26,90	32,30
	Plomo (mgPb/KgMS)	< 10	< 10	< 10	< 10

El análisis de los resultados obtenidos para los metales pesados, para los rangos permitidos según el Real Decreto 824/2005 del 8 de julio sobre productos fertilizantes, cataloga el compost resultante para cada tratamiento dentro de la clase B. Mención especial para los resultados obtenidos en cinc y plomo que se encuentran dentro del rango perteneciente a la clase A. La tabla 4 indica los límites indicados por dicho decreto.

Señalar que los resultados presentados sobre el análisis de cadmio no permiten catalogar los resultados, pero al ser inferiores a 3 mg/KgMS se sabe que cumplen al menos con los requerimientos para pertenecer a la clase C. El contenido de aluminio no se encuentra regulado por dicho decreto.

Tabla 4: Límites de concentración (mg/Kg) de metales pesado permitidos en el compost y su categoría resultante según el Real Decreto 824/2005 del 8 de julio sobre productos fertilizantes.

Metal pesado	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	1	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo	70	250	300

El análisis de inocuidad para *Escherichia coli*, presentado en la tabla 5, se realizó para una sola muestra de cada tratamiento por lo que los resultados obtenidos han de ser analizados con cautela.

El límite establecido es de 1000 NMP/gMB. Se puede ver como el resultado obtenido para el tratamiento con lombrices es varias veces superior a dicho límite. El testigo sin volteo lo supera claramente y el testigo con volteo se acerca mucho. Tan sólo el tratamiento con microorganismos da un valor claramente inferior.

Tabla 5: Análisis de inocuidad realizado por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona sobre una muestra para los tratamientos con lombrices (L), con microorganismos autóctonos (MA), testigo con volteo (V) y sin volteo (SV)

Análisis de inocuidad	
Parámetro	Escherichia coli NMP/g MB
Muestra L	^83001
Muestra SV	^1720
Muestra MA	10
Muestra V	990

Para analizar estos resultados hay que tener en cuenta que el inóculo de *Eissenia foetida* estaba constituido en gran medida por excrementos que pudieron contaminar el sustrato. Más relevante ha podido ser la falta de altas temperaturas durante el proceso de compostaje, temperaturas que tienen un efecto esterilizante.

Se puede concluir que, según los resultado obtenidos en los análisis realizados por la Mancomunidad de Pamplona, el principal problema de calidad del compost obtenido es de carácter biológico.

6. CONCLUSIONES.

Hay que considerar que a lo largo de este experimento no se alcanzaron las temperaturas esperadas durante el proceso de compostaje. Esto pudo deberse a una alta relación C/N en la materia orgánica aportada, falta de aireación por falta de estructurante y una masa crítica pequeña que impidiera alcanzar dichas temperaturas, en especial teniendo en cuenta las fechas en las que se inició el experimento. Antes de realizar las conclusiones se recopilarán los principales resultados obtenidos.

Así para el tratamiento con inóculo de microorganismos se evidenciaron:

1. Mayor reducción del volumen respecto a su testigo.
2. Un incremento en las temperaturas iniciales del proceso de compostaje, aunque no se puede discernir si fue debido a la actividad biológica o al aporte de nutrientes con el inóculo.
3. Obtención de temperaturas por encima de las ambientales.
4. Temperaturas bajas para el proceso de compostaje.
5. Reducción en torno a un 80% de la masa inicial sin diferencias significativas con el testigo.
6. Obtención de un porcentaje de humedad adecuado sin diferencias significativas con el testigo.
7. Sin diferencias en cuanto a peso específico y granulometría.
8. Activo para el test de solvita sin diferencias significativas con el testigo.
9. Falta de temperaturas en el test de autocalentamiento y sin diferencias significativas con el testigo.
10. Menor relación C/N respecto al testigo.
11. Análisis nutricional sin diferencias significativas con el testigo.
12. Posible mayor grado de inocuidad.

Para el tratamiento con lombrices:

1. Sin reducción significativa del volumen respecto a su testigo.
2. Sin variaciones significativas en cuanto a las temperaturas obtenidas durante el proceso de compostaje respecto a su testigo.
3. Obtención de temperaturas por encima de las ambientales.
4. Temperaturas bajas para el proceso de compostaje.

5. Reducción en torno a un 80% de la masa inicial sin diferencias significativas con el testigo.
6. Obtención de un porcentaje de humedad adecuado sin diferencias significativas con el testigo.
7. Sin diferencias en cuanto a peso específico y granulometría.
8. Activo o muy activo para el test de solvita sin diferencias significativas con el testigo.
9. Falta de temperaturas en el test de autocalentamiento y sin diferencias significativas con el testigo.
10. Sin diferencias en la relación C/N respecto al testigo.
11. Análisis nutricional sin diferencias significativas con el testigo.
12. Posible menor grado de inocuidad.

Para la comparación entre testigos (con y sin volteo):

1. El testigo con volteo presenta un reducción significativamente mayor de volumen.
2. Mayor grado de actividad para el test de solvita en el testigo sin volteo.
3. Posible menor grado de inocuidad en el testigo sin volteo.

De todo esto se concluye que el tratamiento con microorganismos fue efectivo como método de compostaje superando en varios de los parámetros medidos a su correspondiente testigo, haciendo especial mención a la menor relación C/N encontrada. Esto puede indicar un mayor progreso en el avance de la descomposición de la materia orgánica aportada. También presentó un incremento mayor en las temperaturas en las fases iniciales del proceso pero posteriormente estas temperaturas se igualaron con la del resto de tratamientos. Esto sugiere la posible utilidad de este tipo de tratamientos para la mejora del proceso de compostaje, pero las bajas temperaturas observadas y la ausencia de más diferencias significativas con el resto de tratamientos señala la necesidad de continuar con su estudio mediante otros experimentos.

Respecto al tratamiento con lombrices hay que señalar que estas tuvieron un desarrollo reproductivo muy por debajo de lo esperado ya fuese por las condiciones climáticas adversas, frío, o por haber sobreestimado el tamaño del inóculo inicial de lombriz. Hay que tener en cuenta que la bibliografía consultada se muestra clara respecto a los beneficios de la aplicación de lombrices como tecnología de compostaje. Por tanto los resultados obtenidos no son determinantes.

Por último, la utilización de compostadores domésticos han demostrado ser de gran utilidad ya que en todos los tratamientos se obtuvieron importantes reducciones de masa y volumen respecto a las cantidades iniciales aportadas. Además, pese a todos los problemas de temperatura y manejo acontecidos a lo largo del experimento, todos los tratamientos proporcionaron valores adecuados tales que resultaron en un compost adecuado para su utilización.

7. BIBLIOGRAFÍA.

AIRA, M; MONROY, F; DOMÍNGUEZ, J; 2006. C to N ratio strongly affects population structure of *Eisenia fetida* in vermicomposting systems. *European Journal of Soil Biology* 42: 127–S131

BISWARUP, S; CHANDRA, T; 2009. Do earthworms affect dynamics of functional response and genetic structure of microbial community in a lab-scale composting system? *Bioresource Technology*. 100: 804–811

BRINTON, J; EVANS, E; DROFFNER, M; BRINTON, R; 1992. a standardized dewar test for evaluation of compost self-heating. Woods End Research Laboratory. 16 p.

DE OLIVEIRA, S.C., PROVENZANO, M.R., SILVA, M.R.S., SENESI, N. 2002. Maturity degree of composts from municipal solid wastes evaluated by differential scanning calorimetry. *Environ. Technol.* 23: 1099–1105.

DOMÍNGUEZ, J; 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. In: Edwards, C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology*, segunda ed. CRC Press, Boca

DUBOISA, J; HILLB, S; ENGLANDC, L; EDGEB, T; MASSONA, L; TREVORSC, J; BROUSSEAU, R; 2004. The development of a DNA microarray-based assay for the characterization of commercially formulated microbial products. *Journal of Microbiological Methods* 58: 251–262

FINSTEIN, L AND MORRIS, M; 1975. Microbiology of municipal solid waste composting. *Advances in Applied Microbiology* 19: 113–151

GONZÁLEZ; et al. 2008. Evaluación de la eficiencia del biocompostge en residuos urbanos por pirólisis analítica (Py-GC/MS). *Bioresource Technology*. 100:1304-1309.

JIMENEZ, E; GARCIA, V; 1992. Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agr. Ecosyst. Environ.* 38: 331–343.

LAZCANO, C; GÓMEZ-BRANDÓN, M; DOMÍNGUEZ, J; 2008 Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure, *Chemosphere* 72: 1013–1019

LEI, F y VANDERGHEYNST, J; 2000. The effect of microbial inoculation and pH on microbial community structure changes during composting. *Process Biochemistry* 35: 923–929.

LEI, F AND VANDERGHEYNST, J; 2000 The effect of microbial inoculation and pH on microbial community structure changes during composting, *Process Biochemistry* 35 (2000), pp. 923–929

MAMANI-MAMANI, G; MAMANI-PATI, F; SAINZ-MENDOZA, H y VILLCA-HUANACO, R. Comportamiento de la lombriz roja en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *J. Selva Andina Res. Soc.* [online]. 2012, vol.3, n.1, pp. 44-54. ISSN 2072-9294.

MARMO, L; 2002. Current Management of Biodegradable Waste and future perspectives. European Commission - DG ENV.A.2, Brussels, 8-10 April 2002.

MEMORIA DE LA MANCOMUNIDAD DE LA COMARCA DE PAMPLONA 2013.
http://www.mcp.es/sites/default/files/memorias/memoria2013/themed/mcp14/files/pdfs/residuos-urbanos_es.pdf

MONDINI, C; FORNASIER, F; SINICCO, T; 2004. Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. *Soil Biology & Biochemistry*. 36:1587–1594

MONDINI, C e ISAM, H; 2003. Compost maturity: a kinetic approach. *European Journal of Soil Biology*. 39: 141–148

NAKAI, Y; SATOH, M; WAKASE, S. 2004. Recent topics of animal health and management, *Tohoku J. Agric. Res*, 55: 31–38.

PACHECO RODRÍGUEZ, F; 2009. Evaluación de la eficacia de la aplicación de inóculos microbiales y de *Eisenia fetida* en el proceso de compostaje doméstico de desechos urbanos. Universidad Pública de Navarra. Máster en agrobiología ambiental.

PACO, G; LOZA-MURGUIA, M; MAMANI, F Y SAINZ, H. Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa. *J. Selva Andina Res. Soc.* [online]. 2011, vol.2, n.2, pp. 24-39. ISSN 2072-9294.

PIETRO, M Y CASTALDI, P; 2004. Thermal analysis for the evaluation of the organic matter evolution during municipal solid waste aerobic composting process. *Thermochimica Acta* 413: 209–214

RAUT, M; 2007. Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste – A compost maturity analysis perspective. *Bioresource Technology* 99: 6512–6519

SALINAS-VASQUEZ, F; SEPULVEDA-MORALES, L y SEPULVEDA-CHAVERA, G. Chemical characterization of humus produced by Californian Red Worm (*Eisenia foetida*) from four organic substrates in Arica. *Idesia* [online]. 2014, vol.32, n.2 [citado 2014-10-24], pp. 95-99.

SHIHO, W; HIRAKU, S; KENICHI, O; OSAMU, K; JUN, N; MASAACKI, S; TAKAKO, S; YUTAKA, N; 2008. Investigation of the microbial community in a microbiological additive used in a manure composting process *Bioresource Technology*. 99: 2687–2693

SHLOMIT, A; MICHAEL, A; IBRAHIM, S; YAEL, L;. 2009. Methodological aspects of microcalorimetry used to assess the dynamics of microbial activity during composting *Bioresource Technology*, 100: 4814–4820

SINGH, A y SHARMA, S; 2002. Composting of a crop residue through treatment with microorganisms and subsequent vermicomposting. *Bioresource Technology* 85: 107–111

TUOMELA, M; VIKMAN, M; HATAKKA, A; ITÄVAARA, M; 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresour. Technol.* 72: 169–183.

VARGAS-GARCIA, M; SUAREZ-ESTRELLA, F; LOPEZ, M; MORENO, J; 2007. 2007. Effect of inoculation in composting processes: Modifications in lignocellulosic fraction. *Waste Management*, 27: 1099–1107

VIVAS, A; MORENO, B; GARCIA, R; BENITEZ, E; 2009. Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste. *Bioresource Technology* 100: 1319–1326.

VUORINEN, A; 2000. Effect of bulking agent on acid and alkaline phosphomonoesterase and β -glucosidase activities during manure composting. *Bioresource Technol*, 55: 201–206.

ZUCCONI, F; MONACO, A; FORTE, M; 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In: Gasser, J.K.R. (Ed.), *Composting of Agricultural and Other Wastes*. Elsevier Applied Science Publications, 73–85.

8. ANEXOS.

8.1. Anexo 1, Aportes de materia orgánica a los compostadores.

Tratamiento	Pesos secos iniciales (llenado)				PS total de llenado
	PS1	PS2	PS3	PS4	
L 1	117,07	21,22	5,36	21,25	164,9
SV 1	99,63	25,62	5,64	22,23	153,12
MA 1	92,02	22,84	4,98	20,56	140,4
V 1	95,07	22,62	8,52	43,63	169,83
L 2	120,85	22,77	7,04	27,05	177,71
MA 2	113,97	28,18	5,72	23,04	170,91
SV 2	98,61	23,92	6,98	26,06	155,56
L 3	126,97	23,04	6,44	24,66	181,12
MA 3	122,95	24,45	7,07	26,28	180,76
V 2	92,83	22,8	11,37	40,09	167,09
L 4	117,4	25,88	10,52	37,76	191,57
SV 3	115,26	23,4	5,82	23,07	167,54
V 3	98,69	22,01	8,28	30,6	159,59
SV 4	97,04	20,42	7,5	28,07	153,02
MA 4	115,63	25	9,36	34,47	184,46
V 4	109,81	22,54	8,31	31,19	171,85
Sumatorio	1733,79	376,7	118,91	460,02	2689,42

8.2. Anexo 2. Parámetros analizados durante el proceso en campo.

a) Volumen.

Compostador	Altura acumulado	Altura final	Reducción	Resta alturas	% perdida
1 L	143	50	0,35	93	65,03%
2 SV	153	44	0,29	109	71,24%
3 MA	148	45	0,30	103	69,59%
4 V	154	42	0,27	112	72,73%
5 L	148	44	0,30	104	70,27%
6 MA	148	45	0,30	103	69,59%
7 SV	139	48	0,35	91	65,47%
8 L	148	47	0,32	101	68,24%
9 MA	151	44	0,29	107	70,86%
10 V	150	42	0,28	108	72,00%
11 L	117	47	0,40	70	59,83%
12 SV	155	48	0,31	107	69,03%
13 V	153	44	0,29	109	71,24%
14 SV	139	46	0,33	93	66,91%
15 MA	149	46	0,31	103	69,13%
16 V	152	41	0,27	111	73,03%

Significación estadística

Comparaciones	F	P
L vs SV	0,75	0,42
MO vs V	20	0,0042
V vs SV	10,10	0,02

b) Temperatura.

	FECHA	T ^a superior	T ^a intermedia	T ^a inferior	T ^a media
L	09/02/09	10,00	10,00	10,00	10,00
L	13/02/09	18,90	13,08	19,40	17,13
L	16/02/09	12,35	3,28	20,00	11,88
L	18/02/09	13,75	14,73	14,65	14,38
L	20/02/09	14,35	17,23	19,50	17,03
L	23/02/09	16,18	12,60	18,78	15,85
L	25/02/09	14,95	12,55	16,55	14,68
L	27/02/09	14,25	11,03	14,05	13,11
L	02/03/09	13,60	13,18	13,45	13,41
L	04/03/09	12,70	11,70	12,70	12,37
L	06/03/09	8,65	8,35	8,65	8,55
L	09/03/09	11,85	11,78	11,35	11,66
L	11/03/09	12,03	11,68	11,28	11,66
L	13/03/09	13,60	12,68	12,73	13,00
L	16/03/09	14,25	14,18	13,55	13,99
L	18/03/09	13,98	13,33	13,48	13,59
L	20/03/09	12,60	12,70	13,58	12,96
L	23/03/09	19,48	20,70	24,10	21,43
L	25/03/09	17,60	16,90	19,45	17,98
L	27/03/09	17,43	16,68	18,85	17,65
L	30/03/09	13,40	12,95	14,03	13,46
L	01/04/09	13,90	12,85	13,48	13,41
L	03/04/09	15,65	20,18	21,75	19,19
L	06/04/09	20,95	26,35	31,98	26,43
L	08/04/09	18,65	22,53	22,93	21,37
L	10/04/09	18,58	22,25	22,28	21,03
L	15/04/09	15,40	17,23	20,00	17,54
L	17/04/09	15,93	16,43	21,40	17,92
L	20/04/09	17,18	17,95	18,05	17,73
L	22/04/09	17,30	19,20	17,70	18,07
L	24/04/09	17,50	19,95	17,83	18,43
L	27/04/09	13,23	11,93	13,53	12,89
L	29/04/09	15,93	16,13	16,60	16,22
L	30/04/09	15,25	14,15	15,88	15,09
L	04/05/09	15,55	13,93	15,88	15,12
L	06/05/09	15,48	13,40	16,20	15,03
L	08/05/09	20,38	19,68	21,73	20,59
L	11/05/09	19,50	19,43	18,18	19,03
L	13/05/09	15,98	24,15	22,50	20,88
L	15/05/09	18,88	21,10	19,65	19,88
L	18/05/09	19,58	24,50	20,10	21,39
L	20/05/09	18,85	16,98	19,80	18,54
L	22/05/09	21,35	21,10	20,85	21,10
L	25/05/09	21,63	21,79	21,95	21,79
L	27/05/09	17,23	16,51	15,80	16,51

L	29/05/09	20,70	20,03	19,35	20,03
L	01/06/09	22,30	22,68	21,95	22,31
L	03/06/09	22,10	5,68	22,35	16,71
L	05/06/09	23,55	22,88	22,20	22,88
L	08/06/09	19,90	20,51	21,13	20,51
MA	09/02/09	10,00	10,00	10,00	10,00
MA	13/02/09	37,25	14,28	30,73	27,42
MA	16/02/09	16,30	28,25	19,25	21,27
MA	18/02/09	16,95	19,38	16,93	17,75
MA	20/02/09	19,68	23,50	28,48	23,88
MA	23/02/09	22,38	16,40	21,45	20,08
MA	25/02/09	17,20	14,08	16,98	16,08
MA	27/02/09	15,30	11,15	15,08	13,84
MA	02/03/09	14,88	15,00	14,43	14,77
MA	04/03/09	13,80	13,25	14,00	13,68
MA	06/03/09	9,55	9,00	9,30	9,28
MA	09/03/09	13,33	12,48	12,93	12,91
MA	11/03/09	13,65	12,75	13,00	13,13
MA	13/03/09	14,58	13,78	13,80	14,05
MA	16/03/09	15,93	15,28	15,25	15,48
MA	18/03/09	16,03	15,13	14,93	15,36
MA	20/03/09	13,70	12,63	14,30	13,54
MA	23/03/09	25,85	23,18	25,25	24,76
MA	25/03/09	21,25	19,68	20,58	20,50
MA	27/03/09	21,65	20,48	22,03	21,38
MA	30/03/09	15,15	14,73	14,85	14,91
MA	01/04/09	15,38	15,40	15,88	15,55
MA	03/04/09	20,38	27,83	29,15	25,78
MA	06/04/09	24,95	34,63	37,13	32,23
MA	08/04/09	21,08	27,10	27,35	25,18
MA	10/04/09	23,80	26,45	26,28	25,51
MA	15/04/09	14,95	17,28	19,98	17,40
MA	17/04/09	15,10	18,54	21,98	18,54
MA	20/04/09	16,35	18,03	16,90	17,09
MA	22/04/09	17,48	19,80	16,53	17,93
MA	24/04/09	17,85	20,05	17,30	18,40
MA	27/04/09	13,30	12,95	13,55	13,27
MA	29/04/09	15,73	16,45	16,38	16,18
MA	04/05/09	15,95	14,28	17,68	15,97
MA	06/05/09	15,18	11,00	17,43	14,53
MA	08/05/09	19,80	20,10	22,15	20,68
MA	11/05/09	18,70	18,65	19,33	18,89
MA	13/05/09	21,63	24,45	23,98	23,35
MA	15/05/09	17,58	19,30	18,88	18,58
MA	18/05/09	20,03	18,55	20,00	19,53
MA	20/05/09	16,98	12,40	20,83	16,73
MA	22/05/09	21,40	21,50	21,60	21,50
MA	25/05/09	20,75	21,64	22,53	21,64
MA	27/05/09	16,93	16,26	15,60	16,26
MA	29/05/09	19,33	20,00	20,68	20,00

MA 01/06/09	21,60	20,80	21,38	21,26
MA 03/06/09	21,20	17,30	22,70	20,40
MA 05/06/09	21,83	21,38	20,93	21,38
MA 08/06/09	19,53	20,24	20,95	20,24
SV 09/02/09	10,00	10,00	10,00	10,00
SV 13/02/09	15,80	11,15	18,98	15,31
SV 16/02/09	11,03	20,00	17,48	16,17
SV 18/02/09	13,96	16,20	14,90	15,02
SV 20/02/09	17,25	19,26	24,10	20,20
SV 23/02/09	18,93	13,48	21,03	17,81
SV 25/02/09	16,05	11,05	16,95	14,68
SV 27/02/09	13,80	12,63	14,30	13,58
SV 02/03/09	13,13	12,75	12,90	12,93
SV 04/03/09	12,08	11,68	12,13	11,96
SV 06/03/09	8,55	8,23	8,30	8,36
SV 09/03/09	11,48	11,68	11,18	11,44
SV 11/03/09	12,13	11,58	10,80	11,50
SV 13/03/09	13,03	12,10	12,05	12,39
SV 16/03/09	14,10	13,48	12,90	13,49
SV 18/03/09	14,25	12,90	12,68	13,28
SV 20/03/09	12,20	11,35	12,90	12,15
SV 23/03/09	17,58	16,25	19,53	17,78
SV 25/03/09	15,93	15,43	16,68	16,01
SV 27/03/09	16,25	15,98	16,63	16,28
SV 30/03/09	12,50	12,28	12,80	12,53
SV 01/04/09	13,08	12,13	12,58	12,59
SV 03/04/09	15,98	23,33	24,53	21,28
SV 06/04/09	20,83	29,75	32,75	27,78
SV 08/04/09	18,48	24,70	24,53	22,57
SV 10/04/09	17,15	23,08	22,55	20,93
SV 15/04/09	15,35	17,18	20,18	17,57
SV 17/04/09	15,70	17,68	21,28	18,22
SV 20/04/09	16,93	17,85	18,00	17,59
SV 22/04/09	17,60	20,25	17,58	18,48
SV 24/04/09	17,30	19,53	17,48	18,10
SV 27/04/09	13,58	13,48	13,93	13,66
SV 29/04/09	15,85	15,83	16,40	16,03
SV 30/04/09	16,25	15,03	16,63	15,97
SV 04/05/09	16,00	14,13	16,25	15,46
SV 06/05/09	15,38	6,85	16,03	12,75
SV 08/05/09	20,08	14,65	20,98	18,57
SV 11/05/09	19,45	10,13	19,10	16,23
SV 13/05/09	21,50	12,20	22,48	18,73
SV 15/05/09	16,60	10,35	18,80	15,25
SV 18/05/09	19,53	12,28	19,93	17,24
SV 20/05/09	18,80	8,48	19,75	15,68
SV 22/05/09	21,58	20,79	20,00	20,79
SV 25/05/09	21,45	21,61	21,78	21,61
SV 27/05/09	16,98	17,00	17,03	17,00
SV 29/05/09	19,33	19,26	19,20	19,26

SV	01/06/09	21,78	21,70	21,28	21,58
SV	03/06/09	21,25	12,43	22,28	18,65
SV	05/06/09	22,98	22,26	21,55	22,26
SV	08/06/09	20,25	20,30	20,35	20,30
V	09/02/09	10,00	10,00	10,00	10,00
V	13/02/09	14,65	12,18	18,28	15,03
V	16/02/09	12,43	13,18	13,88	13,16
V	18/02/09	15,08	16,08	15,93	15,69
V	20/02/09	17,75	16,15	24,08	19,33
V	23/02/09	18,98	15,60	18,68	17,75
V	25/02/09	15,70	9,95	15,90	13,85
V	27/02/09	13,33	11,40	13,18	12,63
V	02/03/09	14,00	13,58	13,68	13,75
V	04/03/09	12,20	11,85	12,93	12,33
V	06/03/09	9,23	8,45	8,58	8,75
V	09/03/09	12,20	11,63	11,85	11,89
V	11/03/09	13,15	12,60	11,40	12,38
V	13/03/09	14,60	12,23	12,30	13,04
V	16/03/09	17,43	14,98	14,25	15,55
V	18/03/09	17,58	13,63	13,40	14,87
V	20/03/09	12,48	12,55	13,43	12,82
V	23/03/09	24,35	22,53	23,28	23,38
V	25/03/09	18,38	17,60	18,28	18,08
V	27/03/09	18,35	17,55	18,60	18,17
V	30/03/09	12,95	12,80	13,40	13,05
V	01/04/09	14,68	13,55	14,70	14,31
V	03/04/09	19,25	25,20	24,70	23,05
V	06/04/09	21,05	30,75	31,50	27,77
V	08/04/09	19,75	24,75	24,60	23,03
V	10/04/09	20,10	24,40	25,20	23,23
V	15/04/09	14,63	16,90	20,23	17,25
V	17/04/09	16,35	16,18	20,43	17,65
V	20/04/09	15,90	15,50	16,90	16,10
V	22/04/09	16,90	19,90	16,90	17,90
V	24/04/09	16,83	20,03	16,93	17,93
V	27/04/09	13,73	12,90	13,58	13,40
V	29/04/09	15,85	16,18	16,40	16,14
V	04/05/09	15,45	13,80	17,23	15,49
V	06/05/09	15,15	7,45	16,90	13,17
V	08/05/09	20,00	20,58	21,15	13,72
V	11/05/09	18,43	14,85	19,03	17,43
V	13/05/09	21,23	22,51	23,80	22,51
V	15/05/09	16,48	17,21	17,95	17,21
V	18/05/09	19,08	19,26	19,45	19,26
V	20/05/09	16,50	17,80	19,10	17,80
V	22/05/09	20,13	19,93	19,73	19,93
V	25/05/09	19,78	20,49	21,20	20,49
V	27/05/09	16,58	15,99	15,40	15,99
V	29/05/09	18,28	19,03	19,78	19,03
V	01/06/09	21,10	21,28	20,63	21,00

V	03/06/09	20,83	21,28	21,73	21,28
V	05/06/09	22,75	21,68	20,60	21,68
V	08/06/09	19,65	19,84	20,03	19,84

8.3. Anexo 3. Parámetros analizados tras el proceso en campo.

a) Pesos de materia orgánica y rendimiento del compost cribado.

Reparto de materia resultante al final del proceso de compostaje

	PF Inicial (kg)	PF Producto Final (kg)	% Producto Final	PF rechazo (kg)	% Rechazo
L 1	266,68	38	14,35%	22,46	8%
L 2	296,84	38	12,79%	23,3	8%
L 3	294,74	39	13,25%	18,62	6%
L 4	343,06	36	10,41%	25,06	7%
SV 1	286,67	32	11,16%	24,7	9%
SV 2	289,14	33	11,42%	20,8	7%
SV 3	291,95	21	7,27%	27,56	9%
SV 4	277,8	31	11,18%	25,18	9%
MA 1	269,22	45	16,63%	17,14	6%
MA 2	309,37	42	13,49%	21,78	7%
MA 3	307,3	47	15,41%	17,26	6%
MA 4	331,8	55	16,49%	19,38	6%
V 1	300,23	36	11,88%	19,34	6%
V 2	324,17	39	11,93%	19,58	6%
V 3	295,21	40	13,56%	21,5	7%
V 4	309,73	46	14,99%	18,34	6%

b) Porcentaje de humedad.

PORCENTAJE DE HUMEDAD

Tratamientos	Peso Fresco	Peso Seco		Porcentaje de Humedad	Peso bandeja (gr)	
	(gr) con bandeja	PF (gr)	(gr) con bandeja			PS (gr)
L 1	346,53	321,01	242,38	216,86	32%	25,52
SV 1	320,39	296,05	216,91	192,57	35%	24,34
MA 1	355,78	330,33	225,25	199,8	40%	25,45
V 1	271,88	246,64	179,98	154,74	37%	25,24
L 2	261,29	236,05	166,59	141,35	40%	25,24
MA 2	330,36	318,09	207,89	195,62	39%	12,27
SV 2	233,89	208,24	151,02	125,37	40%	25,65
L 3	190,28	182,46	118,77	110,95	39%	7,82
MA 3	218,27	202,8	143,33	127,86	37%	15,47
V 2	246,24	230,89	175,27	159,92	31%	15,35
L 4	235,24	219,76	136,74	121,26	45%	15,48
SV 3	212,61	197,12	123,68	108,19	45%	15,49
V 3	228,44	220,64	162,3	154,5	30%	7,8
SV 4	233,27	225,44	157,04	149,21	34%	7,83
MA 4	336,23	328,41	210,24	202,42	38%	7,82
V 4	268,44	260,63	157,54	149,73	43%	7,81

Significación estadística

Comparaciones	F	P
L vs SV	0,04	0,85
MO vs V	1,34	0,29
V vs SV	0,77	0,41

c) Peso específico.

Peso específico en fresco (volumen de 650 ml)

Tratamientos	Kg/l
L 1	0,49
L 2	0,36
L 3	0,28
L 4	0,34
Media L	0,37
SV 1	0,46
SV 2	0,32
SV 3	0,30
SV 4	0,35
Media SV	0,36
MA 1	0,51
MA 2	0,49
MA 3	0,31
MA 4	0,51
Media MA	0,45
V 1	0,38
V 2	0,36
V 3	0,34
V 4	0,40
Media V	0,37

Significación estadística

Comparaciones	F	P
L vs SV	0,03	0,87
MO vs V	2,34	0,18
V vs SV	0,21	0,66

d) Análisis de granulometría.

Pesos obtenidos en gramos de análisis granulométrico.

Tratamientos	menos de					suma
	16 mm	8 mm	4 mm	2 mm	2mm	
L 1	56,06	50,26	38,98	37,25	34,33	216,88
SV 1	98,74	45,13	32,15	22,31	18,7	217,03
MA 1	52,78	25,93	46,76	42,86	32,12	200,45
V 1	71,24	39,65	21,12	13,87	9,52	155,4
L 2	61,13	27	26,44	17,73	9,77	142,07
MA 2	58,77	31,35	44,97	33,64	27,82	196,55
SV 2	65,39	18,07	17,11	14,68	11,74	126,99
L 3	69,52	22,71	10,8	4,63	4,65	112,31
MA 3	68,04	20,79	15,88	12,21	12,68	129,6
V 2	21,4	47,59	41,92	32,15	19,06	162,12
L 4	49,53	24,21	23,02	14,11	12,55	123,42
SV 3	59,08	20,49	15,48	8,59	6,74	110,38
V 3	60,1	57,08	21,97	9,59	7,3	156,04
SV 4	96,1	22,19	12,65	11,51	8,45	150,9
MA 4	83,95	25,33	40,89	34,1	19,1	203,37
V 4	62,67	36,77	22,39	18,77	11	151,6

e) **Análisis de estabilidad con metodología de autocalentamiento.**

	Tratamiento	HORA	L	SV	MA	V
Día 1	12	0	26,4	26,1	25,9	24,7
	18	6	27,8	27,8	27,6	25,2
Día 2	9	21	27,2	27	27,3	26,5
	12	24	27,7	27,2	27,2	26,4
	18	30	27,5	26,9	27,2	26
Día 3	9	45	27,5	27,7	28,1	26,5
	12	48	27,8	27,5	28,5	27,1
	18	54	27,8	27,7	28,6	27,3
Día 4	9	69	27,7	27,7	28,1	27
	12	72	26,9	27,5	27,9	27,1
	18	78	27,4	27,6	28,45	27
Día 5	9	93	27,9	27,7	29	26,9
	12	96	27,9	27,8	29	27
	18	102	28,1	28,1	29	27,4
24	9	117	28,3	28,4	29	27,8
	12	120	28,3	28,4	29	27,8
	18	126	28,8	29	30	28,1
	9	141	28,8	29,2	30,3	28,8
Día 9	12	144	28,7	29	29,5	27,3
	18	150	27,9	27,8	28	28,4
	9	165	27,6	27,6	28,05	28
Día 10	12	168	27,3	27,4	28,1	27,6
	12	192	27,9	27	27,6	27,1
Día 11	12	216	28,2	27,5	28,1	27,5

f) Análisis de pH y conductividad eléctrica (CE) en pasta saturada.

Tratamiento	pH
L 1	8,54
L 2	8,56
L 3	8,28
L 4	8,4
SV 1	8,4
SV 2	8,27
SV 3	8,12
SV 4	8,17
MA 1	8,44
MA 2	8,2
MA 3	8,17
MA 4	8,2
V 1	8,46
V 2	8,19
V 3	8,26
V 4	7,95

Significación estadística

Comparaciones	F	P
L vs SV	5,18	0,06
MO vs V	0,09	0,77
V vs SV	0,04	0,84

Tratamiento	CE
L 1	9,54
L 2	10,01
L 3	8,69
L 4	9,46
SV 1	6,87
SV 2	8,62
SV 3	7,6
SV 4	7,73
MA 1	7,76
MA 2	9,82
MA 3	10,37
MA 4	8,04
V 1	10,46
V 2	8,53
V 3	8,43
V 4	9,74

Significación estadística		
Comparaciones	F	P
L vs SV	14,5	0,01
MO vs V	0,16	0,7
V vs SV	7,07	0,04

8.4. Anexo 4. Fotografías.





