

## Ensayo del manejo del proceso de compostaje biodinámico en Liria (Valencia)





## UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza a la alumna **D<sup>a</sup>. Iviss Onelia Margarita Medina Benavides**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Ensayos de manejo de procesos de compostaje en Liria (Valencia)”, bajo la dirección de D<sup>a</sup>. Aurelia Pérez Murcia y de D<sup>a</sup>. M<sup>a</sup> Teresa Fernández Suárez, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 30 de junio de 2021

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

CONCEPCION  
|PAREDES|GIL

Firmado digitalmente por  
CONCEPCION|PAREDES|GIL  
Fecha: 2021.06.30 10:13:34  
+02'00'

Fdo.: Concepción Paredes Gil

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



**Escuela politécnica superior de Orihuela**

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



**Título**

**Ensayo del manejo del proceso de compostaje biodinámico en  
Liria (Valencia)**

Aurelia Pérez Espinosa

**Vº Bº Director**

María Teresa Fernández Suarez

**Vº Bº Codirector**

Iviss Onelia Margarita Medina Benavides

**Alumno**

## Referencias Del Trabajo Fin De Máster

**Autor:** Iviss Onelia Margarita Medina Benavides

**Título:** Ensayo del manejo del proceso de compostaje biodinámico en Liria (Valencia)

**Title:** Test of the handling of the biodynamic composting process in Liria (Valencia).

**Directora del TFM:** Aurelia Pérez Espinosa

**Co Directora del TFM:** María Teresa Fernández Suarez

**Año:** 2021

**Titulación:** Máster Universitario en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos

**Tipo de proyecto:** Experimental

**Palabras claves:** compostaje, agroecología, biodinámico, estiércol

**Keywords:** composting, agroecology, biodynamic, manure

**Nº citas bibliográficas:** 93

**Nº de planos:** 0

**Nº de tablas:** 9

**Nº de figuras:** 36

**Nº de anexos:** 26

## RESUMEN

El empleo de residuos ganaderos (estiércol de vacuno), junto con restos vegetales (paja), para producir enmiendas de calidad como, por ejemplo, los compost requieren de ensayos para obtener mejores resultados. Uno de los factores a estudiar son las formas de manejo de las pilas durante el proceso de compostaje. En concreto en este ensayo se han realizado diferentes métodos de volteo de pilas para estudiar su influencia en la calidad del producto final y en la evolución de su perfil térmico, que está íntimamente relacionado con la higienización del compost. Además, en este trabajo también se ha ensayado el uso de compuestos biodinámicos, para estudiar su posible efecto tanto en la evolución del proceso como en el compost final. El ensayo se realizó en el término municipal de Liria (Valencia) dentro del Convenio de Agrocompostaje de la Generalitat Valenciana.

Se establecieron inicialmente tres pilas de compostaje formadas por estiércol vacuno (EV) en las que se realizaron diferentes manejos (SVO: sin volteo; VVO: volteo con volteadora; VMO: volteo con máquina). Cada una de las pilas se dividió en dos, y preparados biodinámicos que fueron introducidos en distintos puntos de la pila, obteniéndose al final un total de seis pilas. En todas ellas se analizaron los parámetros relativos al proceso de compostaje y la evolución de la fracción hidrosoluble, materia orgánica y parámetros indicativos de la calidad final del compost. En general todas las pilas ensayadas cumplieron los requisitos de higienización. No se obtuvieron amplias diferencias entre las pilas control y las pilas biodinámicas y se apreció mejor evolución en las pilas volteadas con máquina.

**Palabras clave:** estiércol vacuno, paja, manejo, compostaje, preparados biodinámicos,

## **ABSTRACT**

The use of livestock waste (beef manure), together with plant remains (straw), to produce quality amendments, such as compost, require trials to obtain better results. One of the factors to study are the ways of handling the piles during the composting process. Specifically, in this test, different pile turning methods have been carried out to study their influence on the quality of the final product and on the evolution of its thermal profile, which is closely related to compost sanitation. In addition, in this work the use of biodynamic compounds has also been tested, to study their possible effect both on the evolution of the process and on the final compost. The test was carried out in the municipality of Liria (Valencia) within the Agrocomposting Agreement of the Generalitat Valenciana.

Three composting piles were initially established, consisting of bovine manure (EV) in which different handling was carried out (SVO: without turning; VVO: turning with turning machine; VMO: turning with machine). Each of the piles was divided into two, and biodynamic preparations were introduced at different points in the pile, resulting in a total of six piles at the end. In all of them, the parameters related to the composting process and the evolution of the water-soluble fraction, organic matter and parameters indicative of the final quality of the compost were analyzed. In general, all the batteries tested met the sanitation requirements. No wide differences were obtained between the control piles and the biodynamic piles and a better evolution was observed in the piles turned by machine.

**Keywords:** beef manure, straw, management, compost, biodynamic farming.

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial a Dios Padre todo Poderoso. A mi Madre, a mí hija sin ellas este trabajo no sería posible. a. Aurelia Pérez Espinosa, por la oportunidad de realizar este trabajo, su visión científico-técnica y su estímulo han sido esenciales para explorar este camino siendo mí directora. A mí co-directora, María Teresa Fernández Suarez, por sus orientaciones y por compartir sus conocimientos en la temática investigada. A todos los miembros del grupo de investigación aplicada en Agroquímica y Medio Ambiente (GIAAMA), de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Residuos orgánicos	1
1.2.	Residuos ganaderos	3
1.3.	Agroecología y compostaje	9
1.4.	Agricultura biodinámica	10
1.5.	Fundamentos del compostaje	12
1.5.1.	Definición y etapas del proceso	13
1.5.2.	Factores para el proceso del compostaje	15
1.5.3.	Sistema de compostaje	26
1.5.4.	Evaluación de la calidad del compost	27
II.	OBJETIVOS	32
III.	MATERIAL Y MÉTODOS	35
3.1.	Diseño experimental	35
3.1.1.	Caracterización inicial de los residuos a compostar.	35
3.1.2.	Desarrollo del sistema de compostaje	36
3.1.3.	Establecimiento de los parámetros de la muestra inicial a compostar	38
3.2.	Dispositivo experimental	39
3.2.1.	Características de los residuos utilizados	39
3.2.2.	Dispositivo de compostaje utilizado	40
3.3.	Desarrollo experimental	41
3.3.1.	Preparación de las muestras	41
3.3.2.	Seguimiento del proceso de compostaje	41
3.3.3.	Control de volteos y otras operaciones realizadas.	42
3.4.	Métodos analíticos	43
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
5.1.	Cambios de parámetros en el proceso	48

5.1.1. Temperatura	48
5.1.2. Densidad aparente	52
5.2. Fracción hidrosoluble	53
5.2.1. Humedad	53
5.2.2. pH	55
5.2.3. Conductividad eléctrica	56
5.2.4. Polifenoles solubles	58
5.3. Evolución de la materia orgánica y su fracción sólida	59
5.3.1. Materia orgánica total	59
5.3.2. Carbono orgánico total	61
5.3.3. Nitrógeno total	62
5.3.4. Relación carbono/nitrógeno	64
5.4. Evolución de otros nutrientes y elementos totales	66
5.4.1. Fósforo total	66
5.4.2. Potasio total	67
5.4.3. Sodio total	68
5.4. Parámetros indicativos de calidad del compost	69
5.4.1. Capacidad de cambio catiónico	69
5.4.2. Índice de germinación	71
5.5. Parámetros indicativos de humificación	72
5.5.1. Carbono extraíble	72
5.5.2. Carbono de los ácidos fúlvicos	74
5.5.3. Carbono de los ácidos húmicos	75
5.6. Índices de humificación de la materia orgánica	76
5.6.1. Relación de humificación	77
5.6.2. Índice de humificación	78
5.6.3. Porcentaje de ácidos húmicos	79
5.6.4. Relación de polimerización	80
V. CONCLUSIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	84



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de ganados a nivel mundial (FAO, 2019).	4
Tabla 2. Tipos de estiércol de ganado (Sánchez y col. 2016).	7
Tabla 3. Parámetros físico-químicos de sustratos para compostaje (Rynk y col. 1992).	15
Tabla 4. Parámetros físico-químicos de sustratos para compostaje (Rynk 1992).	16
Tabla 5. Contenido elemental de C y N de sustratos para compostaje (Theisen y Tchobanoglous 1993).	18
Tabla 6. Pilas de compostaje de la finca Santa Bárbara	37
Tabla 7. Parámetros iniciales de las muestras a compostar.	39
Tabla 8. Cronograma del ensayo llevado a cabo.	42
Tabla 9. Niveles de higienización propuestos en Reglamento (UE) 2019/100951	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Actividades generadoras de residuos	2
Figura 2. Distribución comparativa del estiércol en Europa (FAO, 2019)	5
Figura 3. Distribución comparativa del estiércol en España (FAO, 2019)	6
Figura 4. Distribución comparativa del estiércol a nivel mundial (FAO, 2019).	6
Figura 5. Pilas de compostaje en las instalaciones de finca Santa Bárbara.	36
Figura 6. Volteo a pilas de compostaje en las instalaciones de la finca Santa Bárbara.	37
Figura 7. Volteadora de carga utilizada para el volteo de pilas de compostaje.	40
Figura 8. Preparado de las muestras en trituradora	43
Figura 9. Medida del Ph en las muestras.	44
Figura 10. Medida de conductividad eléctrica de las muestras.	45
Figura 11. Determinación de polifenoles de las muestras.	45
Figura 12. Determinación del índice de germinación	46
Figura 13. Determinación de ácidos húmicos, fúlvicos y carbono extraíble.	47

Figura 14. Evolución de la temperatura en las pilas de compostaje.	49
Figura 15. Rangos de <i>temperatura en los días de proceso de las pilas de compostaje.</i>	50
Figura 16. Humedad de las pilas de compostaje.	54
Figura 17. pH de las pilas de compostajes.	56
Figura 18. Conductividad eléctrica de las pilas de compostaje.	57
Figura 19. Polifenoles de las pilas de compostaje.	59
Figura 20. Materia orgánica total de las pilas de compostaje.	60
Figura 21. Carbono orgánico total en las pilas de compostaje.	61
Figura 22. Nitrógeno total de las pilas de compostaje.	63
Figura 23. Relación C/N de las pilas de compostaje.	65
Figura 24. Fósforo total en las pilas de compostaje.	66
Figura 25. Potasio en las pilas de compostaje.	67
Figura 26. Sodio total en las pilas de compostaje.	68
Figura 27. Capacidad de cambio catiónico en las pilas de compostaje (meq/g ct)	70
Figura 28. Capacidad de cambio catiónico en las pilas de compostaje (meq/100g mot)	71
Figura 29. Índice de germinación de las pilas de compostaje.	71
Figura 30. Carbono extraíble de las pilas de compostaje.	73
Figura 31. Carbono de los ácidos fúlvicos (%)	74
Figura 32. Ácidos húmicos en las pilas de compostaje	75
Figura 33. Relación de humificación de las pilas de compostaje.	77
Figura 34. Índice de humificación en las pilas de compostaje.	78
Figura 35. Porcentaje de ácidos húmicos de las pilas de compostaje.	79
Figura 36. Relación de polimerización en las pilas de compostaje.	80

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Relación C/N.	17
Ecuación 2. Fracción Biodegradable.	19
Ecuación 3. Humedad del Sustrato.	22

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Índices de evolución de seguimiento térmico del proceso.	90
Anexo 2. Temperatura durante los días de proceso del compostaje.	91
Anexo 3. Densidad Aparente de las pilas de compostaje.	91
Anexo 4. Humedad de las pilas de compostaje.	91
Anexo 5. pH de las pilas de compostaje.	92
Anexo 6. Conductividad Eléctrica de las pilas de compostaje.	92
Anexo 7. Polifenoles de las pilas de compostaje.	92
Anexo 8. Materia orgánica de las pilas de compostaje.	93
Anexo 9. Carbono orgánico total de las pilas de compostaje.	93
Anexo 10. Nitrógeno total de las pilas de compostaje.	93
Anexo 11. Relación carbono nitrógeno de las pilas de compostaje.	94
Anexo 12. Fósforo total de las pilas de compostaje.	94
Anexo 13. Potasio total de las pilas de compostaje.	94
Anexo 14. Sodio total de las pilas de compostaje.	95
Anexo 15. Capacidad de intercambio catiónico de las pilas de compostaje.	95
Anexo 16. Índice de germinación de las pilas de compostaje.	95
Anexo 17. Carbono extraíble de las pilas de compostaje.	96
Anexo 18. Carbono de ácidos fúlvicos de las pilas de compostaje.	96
Anexo 19. Carbono de ácidos húmicos de las pilas de compostaje.	96
Anexo 20. Relación humificación de las pilas de compostaje.	97
Anexo 21. Índice de humificación de las pilas de compostaje.	97
Anexo 23. Porcentaje de ácidos húmicos de las pilas de compostaje.	97
Anexo 23. Relación de polimerización de las pilas de compostaje.	98

Anexo 24. Características de los materiales utilizados en los procesos de compostaje sobre materia seca.	98
Anexo 25. Evolución de materia orgánica y su fracción sólida a lo largo del proceso de compostaje.	100
Anexo 26. Principales características de calidad de los compost finales obtenidos (datos referidos a materia seca).	102

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Residuos orgánicos**

La materia orgánica y residuos con componentes orgánicos, como explica Nelson y Sommer, (1996), se utilizan para designar una mezcla heterogénea compleja de materiales orgánicos que se presentan de forma natural en el suelo. Está formada principalmente por C, H, O y N y, en menor proporción por S, P, B y Fe, entre otros. Estos materiales incluyen: materia orgánica fresca (no humificada) y humus.

Así mismo, Porta y col. (2003), señalan que el humus o la fracción coloidal de la materia orgánica, está formada por un conjunto de sustancias orgánicas fuertemente descompuestas y de composición química variable de unos suelos a otros. Unos constituyentes son el resultado de la alteración microbiana (materias orgánicas heredadas con características químicas reconocibles) y otros de la reorganización de moléculas complejas (materiales transformados) que han perdido las características químicas de sus precursores (humus en sentido estricto).

Por otro lado, Holz y col. (2000), explica que los residuos orgánicos, actúan sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en la agricultura e intervienen en el comportamiento del mismo, condicionando su papel en los ecosistemas. La utilización de enmiendas orgánicas tratadas y estabilizadas en cultivos agrícolas es una práctica frecuente que pretende ser un destino alternativo para los residuos orgánicos.



Los residuos agrícolas, según, la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (2014), es la fracción no comercializable de la cosecha, considerando como tal las partes de la planta como tallos, raíces, hojas y frutos que no son comestibles o que no alcanzan los límites de calidad exigidos.



Los lodos de depuración, como señala Camacho (2009), consisten en una mezcla de agua y sólidos separada del agua residual, como resultado de procesos naturales o artificiales. Se generan como resultado de las distintas etapas en las estaciones depuradoras que reciben aguas residuales urbanas, en las fosas sépticas y en otras estaciones depuradoras de aguas residuales que traten aguas de composición similar, principalmente de la industria agroalimentaria.



Los residuos industriales, como explica Elias (2009), presentan generalmente características que les hacen especiales, por su composición y cantidad o por la forma en que se generan en los diferentes procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento.



Los residuos urbanos, como indica, Otero (1992), se entiende por residuos urbanos los objetos o sustancias, del cual se desprende su poseedor o tenga la obligación de desprenderse, y que son generados por cualquier actividad en los núcleos de población o en sus zonas de influencia. La naturaleza de dichos residuos es muy variada debido a la diversidad tecnológica e industrial que se centra en las ciudades.

### **Figura 1. Actividades generadoras de residuos**

Según, la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (2011), las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), son productores de lodos y como tales productores de residuos deben asegurar su correcta gestión, y pueden realizarla directamente o encargarla a gestores autorizados.

Por otra parte, el Reglamento 2009/1069/CE (2009), señala que la mayor parte de los residuos agroindustriales están considerados como biorresiduos, según la Directiva 2008/98/CE sobre residuos, excepto las aguas residuales, residuos de conservantes, residuos de la extracción con disolventes, residuos de tratamientos químicos, residuos de tierra y algunos subproductos de origen animal.

La gestión de los residuos urbanos la realizan generalmente los ayuntamientos mediante empresas contratadas y consiste en un conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos producidos en una zona, el destino global más adecuado desde el punto de vista ambiental y especialmente en la vertiente sanitaria, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, coste de tratamiento, posibilidades de recuperación, comercialización y directrices administrativas en este campo.

## **1.2. Residuos ganaderos**

El aprovechamiento de los recursos que contienen los residuos ganaderos, tanto la materia orgánica como los nutrientes, requiere la elaboración de planes adecuados de fertilización, basados en los requerimientos de los cultivos y los aportes que puedan realizar estos materiales.

De esta forma Burton y Turner (2003), demuestran que las dosis de aplicación se adecuan a las necesidades de nutrientes para las plantas, evitando la acumulación excesiva en el suelo con el consecuente riesgo de contaminación para las aguas y los suelos. La idea es volver a considerar el estiércol como un recurso, en lugar de un residuo, valorando su contenido en nutrientes y materia orgánica para el suelo y los cultivos.

Según, FAO (2019), la evolución de la ganadería en la UE, por número de animales, no ha variado significativamente, con ligeros aumentos en las aves hasta la actualidad, descendiendo el número de animales de bovino.

En la Tabla 1, se muestra la producción de ganado a nivel mundial, donde el 83,5 % de los animales de producción ganadera lo componen el sector avícola, seguido por el bovino (4,84 %), ovino (3,93 %), caprino (3,4 %) y porcino (3,18 %).

**Tabla 1. Producción de ganados a nivel mundial (FAO, 2019).**

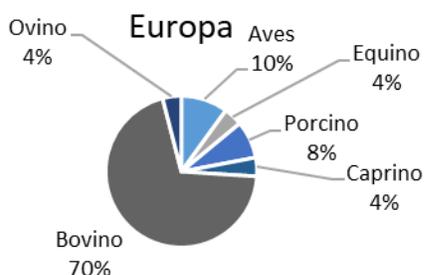
<b>Tipo de Ganado</b>	<b>Producción Total</b>
<b>Bovino</b>	La cabaña ganadera mundial se estima en 1490 millones de animales, siendo el mayor productor Brasil con el 14 %, seguido por Estados Unidos (7,22 %). Europa (UE) supone el 8,1 % del mundial, siendo España el 5,45 de Europa.
<b>Ovino</b>	El ganado ovino de Europa supone el 10,81 % del mundial, cantidad similar a Australia que es el mayor productor, seguido de Nueva Zelanda. España supone el 12,13 % de Europa.
<b>Caprino</b>	En Europa solo supone el 1,61 % mundial, del que el 16,44 % corresponde a España. Destaca de los países desarrollados Méjico con el 1,24 % mundial, pero parece que la mayor parte se sitúa en países en vías de desarrollo.
<b>Porcino</b>	Europa (UE) supone más del 19 % del porcino mundial, siendo España uno de los mayores productores con el 16,35 % de Europa. El mayor productor de porcino es Estados Unidos (6,3 %), seguido de Brasil (3,43 %).
<b>Avícola</b>	El número mundial de aves de corral alcanza 25700 millones, Europa aporta el 9,62% (de ellos el 5,55 % corresponde a España) y el país con mayor número de aves es Estados Unidos con el 12 % de la cabaña mundial, seguido de Brasil (6,5 %).

De esta manera, Burton (2007), manifiesta que la cantidad diaria excretada por los animales se estima en 8-9 % del peso corporal en el caso del ganado vacuno y del 6 % en el ganado porcino, mientras que la cantidad de materia seca (MS) del estiércol de vacuno y porcino está entre 9 y 11 %, aunque dependiendo del sistema de manejo utilizado en la explotación se puede encontrar diferentes valores: entre 6 y 14 % para el estiércol líquido, entre 20 y 25 % en sistemas de pastoreo.

El tipo de instalación también tiene una gran influencia en la cantidad y tipo de residuo generado (estiércol sólido o purín). En Europa la proporción de la forma líquida del estiércol (purín) varía mucho en los distintos países desde el 95 % de la producción total en Holanda, hasta el 20 % del total en los países del Este de Europa.

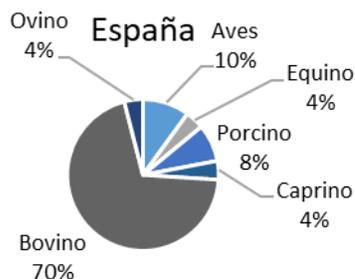
Según, la orden de 3 de diciembre de 2003, de la consejería de agricultura, agua y medio ambiente, por la que se aprueba el código de buenas prácticas agrarias de la región de Murcia (2003), en el centro de Europa, España y Portugal más del 65 % del estiércol se produce en forma de purín, con la proporción más elevada en el caso del porcino. La producción de deyecciones animales por tipo de ganado y por tipo de residuo generado ha sido establecida en diversas normativas, como por ejemplo en el Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Región de Murcia.

En la figura 2, se presentan la distribución porcentual de estiércol para cada tipo de ganado en Europa, según FAO (2019). Aunque por número de animales el dominio era de las aves, la menor cantidad de estiércol producido por éstas, en contraste con el bovino, hace que el estiércol de bovino sea el más abundante a nivel mundial. Se aprecia que el 70% del estiércol mundial proviene del ganado bovino, sin embargo, la proporción de éste disminuye en Europa a favor del porcino (17 %).



**Figura 2. Distribución comparativa del estiércol en Europa (FAO, 2019)**

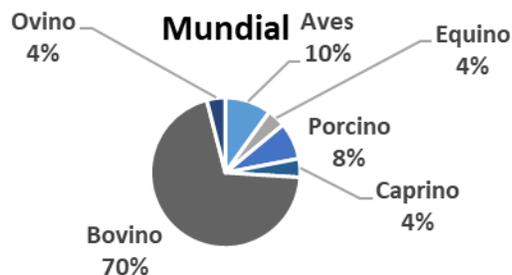
En la figura 3, dicha tendencia se acentúa en España con un 42 % de bovino y 29 % de porcino. El país que produce mayor cantidad de estiércol es Brasil (11 % del mundial), y sólo el bovino supone 1200 millones toneladas anuales.



**Figura 3. Distribución comparativa del estiércol en España (FAO, 2019)**

En la figura 4, se presenta la distribución porcentual de estiércol para cada tipo de ganado a nivel mundial, según FAO (2019). Aunque por número de animales el dominio era de las aves, la menor cantidad de estiércol producido por éstas, en contraste con el bovino, hace que el estiércol de bovino sea el más abundante a nivel mundial.

Se aprecia que el 70% del estiércol mundial proviene del ganado bovino, sin embargo, la proporción de éste disminuye en Europa a favor del porcino (17 %). Dicha tendencia se acentúa en España con un 42 % de bovino y 29 % de porcino. El país que produce mayor cantidad de estiércol es Brasil (11 % del mundial), y sólo el bovino supone 1200 millones toneladas anuales.



**Figura 4. Distribución comparativa del estiércol a nivel mundial (FAO, 2019).**

La mayor parte del estiércol se aplica al suelo agrícola dentro de los planes de fertilización, no obstante, el exceso de estiércol que se produce en ciertas zonas con alta densidad ganadera pero baja superficie agrícola útil, hace necesario disponer de alternativas para su reciclaje. El principal problema se debe a los purines, bien de vacuno o de porcino, cuya utilización agrícola tiene mayor dificultad que el estiércol sólido tradicional.

De esta manera, Sánchez y col. (2016), indica que se considera estiércol a los excrementos o residuos excretados por el ganado, solos o mezclados, aunque se hubieran transformado. En la Tabla 2, se pueden diferenciar los distintos tipos de estiércoles para ganado.

**Tabla 2. Tipos de estiércol de ganado (Sánchez y col. 2016).**

<b>Tipo de Estiércol</b>	<b>Composición</b>
<b>Estiércol Sólido</b>	El estiércol del ganado estabulado, vacuno, porcino, de aves de corral, equino, ovino, caprino y de conejos, que no fluye bajo gravedad, no se puede bombear y que puede ser apilado.
<b>Estiércol de Granja</b>	Las heces y la orina mezcladas con la cama de paja del ganado vacuno, porcino y equino.
<b>Estiércol Líquido</b>	Cualquier estiércol del ganado contenido que fluye bajo gravedad y puede ser bombeado.
<b>Purín</b>	Heces y orina producidas por el ganado estabulado, mezclado generalmente con un poco de la cama, restos de comida y agua durante su manejo para dar un estiércol líquido con un contenido de la materia seca de 1-10%.

Así mismo, Sánchez y col. (2016), manifiestan que el purín es el principal tipo de estiércol generado por el ganado porcino y se considera al producto de la excreta que durante la crianza del ganado estabulado es recogido en una fosa. Se compone de la mezcla de dos fracciones: una líquida que proviene de la orina y de las aguas de lavado del establo y que contiene materias minerales y orgánicas disueltas; y

otra fracción de sustancias sólidas en suspensión procedentes de materiales fecales sólidos y restos de comida en diferentes etapas de descomposición.

La composición de los estiércoles depende del tipo de animal y su dieta, el tipo de instalación, si se recoge en forma líquida o sólida, con o sin la cama de los animales. Las diferencias clave entre los tipos del ganado son:

- Los estiércoles más secos son de aves de corral con el estiércol de engorde que a menudo es muy seco debido a la humedad baja en excrementos del ave, a la gran cantidad de cama usada en la instalación y a efectos de sequía dentro del edificio. El valor nutricional del estiércol de ave es también el más alto.
- El estiércol sólido y líquido de cerdo tiende a ser más alto en contenido de nutrientes que el estiércol de vacuno equivalente.
- En todos los estiércoles hay un contenido elevado de P en comparación con el contenido de N, dando una relación N/P no-equilibrada para la nutrición de la planta.
- La gallinaza (estiércol de ave) posee un elevado contenido de N total, una alta proporción como ácido úrico.

Además, Sánchez y col. (2016) explican que estiércol es el residuo generado por el ganado en las granjas de producción. Tanto el ganado estabulado como en extensivo genera estiércol, correspondiente a las deyecciones de los animales. El estiércol que debe ser gestionado proviene del ganado estabulado y principalmente de granjas de producción intensiva. En las granjas se producen otros residuos que se deben gestionar adecuadamente, como son los cadáveres, restos de productos veterinarios, envases, etc. Las aguas de lavado con frecuencia se introducen en las

vías de gestión del estiércol, principalmente cuando este se recoge en forma líquida de purín.

### **1.3. Agroecología y compostaje**

En cuanto a agroecología, Canet y Albiach (2008), explican que una característica distintiva de las diferentes estrategias de cultivo ecológico es la utilización de los productos orgánicos como productos fertilizantes, tomando la técnica de compostaje como el método más empleado en el marco de la agricultura ecológica.

A pesar de que no existe una distinción del propio método de compostaje que diferencie entre un compostaje ecológico o no ecológico, sí se aplican diferenciaciones en el manejo práctico que pueden resultar ser más consecuentes con los principios que persigue la agricultura ecológica.

La principal diferencia radica en el objetivo del proceso de compostaje, siendo en agricultura convencional la obtención de un material estable que pueda tener mayor variedad de aplicaciones o valorizaciones del tipo energético, mientras que en agricultura ecológica el objetivo es la obtención de productos fertilizantes y enmiendas orgánicas.

Así mismo, Canet y Albiach (2008), expresan que otra diferenciación importante es que los residuos a emplear en el proceso deben estar autorizados por los reglamentos de aplicación. Es decir, que los residuos provengan de actividades calificables o certificables como ecológicas.

Si bien la norma dictaría este proceder, la práctica indica que se suelen admitir residuos que cumplen estrictos criterios de calidad independientemente de su origen, con el fin de evitar los problemas derivados de la escasez y el elevado coste de los residuos estrictamente ecológicos.

Es por ello que quedan descartados dos de los residuos más habituales del compostaje convencional, los residuos urbanos no separados en origen y los lodos de depuradora, así como cualquier otro residuo orgánico agroindustrial proveniente de un proceso productivo en el que se han empleado compuestos químicos de síntesis.

Por el contrario, es habitual encontrar en compostaje con aplicación en agricultura ecológica residuos nada habituales en compostaje con aplicación convencional como son los restos de vegetación natural, plantas aromáticas y medicinales.

#### **1.4. Agricultura biodinámica**

El método de agricultura biodinámico, como indica Pfeiffer (1992), se desarrolla desde 1922, a partir de las indicaciones y consejos dados por el filósofo croata Rudolf Steiner, conocido por su visión del mundo llamada antroposofía o ciencia espiritual.

El calificativo biodinámico significa que se trabaja de acuerdo con las energías que crean y mantienen la vida. Este era el objetivo que buscaba el primer grupo de agricultores que, animados por Rudolf Steiner, se dedicaron a experimentar sobre el terreno a fin de verificar la validez del nuevo método. Ellos lo llamaron método biodinámico, partiendo de dos palabras griegas: "bios" vida y "dynamis" energía.

Por otro lado, Reeve y col. (2010), expresan que el empleo de la palabra método implica no sólo fabricar abonos de una nueva forma (circunstancialmente orgánicos), sino sobre todo respetar ciertos principios para asegurar la salud de la tierra y de las plantas, y para procurar una nutrición sana para los animales y al ser humano.

No obstante, el método biodinámico es algo muy diferente a cualquier método de agricultura biológica. Representa una vía auténticamente científica para la producción de humus. Su fin no es simplemente aplicar materia orgánica más o menos descompuesta a la tierra, sino obtener un humus estable y duradero, resultante de una digestión completa de la materia orgánica bruta, y es este humus elaborado el que abonará la tierra.

En este aspecto, el método biodinámico difiere de lo que se llama comúnmente agricultura biológica. Para esta última no importa el tipo de materia orgánica con que se forma el montón de compost.

Así mismo Rodas y col. (2019), definen el método biodinámico, como un conjunto de procedimientos y de técnicas aplicables a la agricultura. El objetivo final es mejorar el estado orgánico de la tierra y reconstituir el humus. La conservación de la materia orgánica constituye una de sus principales preocupaciones. Mientras no exista absolutamente nada de materia orgánica disponible, no hay ninguna posibilidad de poner en práctica la biodinámica.

El compost y el estiércol son las principales fuentes de materia orgánica que se puede aportar a la tierra para mejorarla. Por otro lado, existen los mantillos de hojas muertas u otros desechos bien descompuestos, etc. La primera tarea del agricultor biodinámico consiste en recoger tanto material bruto para el compost y producir tanto estiércol como sea posible.

La agricultura biodinámica insiste en el interés económico de criar la mayor cantidad de ganado con este objetivo. El estiércol o el compost no se deben dejar fermentar abandonados, porque así se perderían elementos minerales útiles, materia orgánica o nitrógeno.

## 1.5. Fundamentos del compostaje

El desarrollo de cualquier proceso de compostaje está condicionado básicamente por la composición y estructura del material a compostar y por el crecimiento y las actividades metabólicas subsecuentes de los microorganismos, que actúan sobre los nutrientes aportados por dichos materiales en presencia de oxígeno, generando un producto estable humificado junto con gases, agua y calor, como residuos del metabolismo microbiano.

Según, Moreno y Mormeneo (2008), el compostaje es una compleja interacción entre los restos orgánicos, los microorganismos, la aireación y la producción de calor. Es importante entender cómo influyen estos parámetros en el ecosistema microbiano para mejorar la eficiencia del proceso y permitir su control. Este control debe dirigirse tanto a la aceleración de la transformación de la materia orgánica, como a la minimización de cualquier riesgo medio ambiental.

Desde el punto de vista operacional, Epstein (1997), manifiesta que, para efectuar un proceso de compostaje, en primer lugar, deben seleccionarse materiales orgánicos que suministran nutrientes carbonados, nitrogenados y otros elementos necesarios para que los microorganismos presentes en dichos materiales proliferen. Para ello es preciso además humectar y triturar dichos sustratos para facilitar el ataque microbiano. Una vez adecuados, los materiales se apilan y en estas condiciones comienzan a desarrollarse los microorganismos degradando la materia orgánica en presencia de oxígeno y generando calor.

Por otro lado, Epstein (1997), señala que las variaciones térmicas que ocurren en la pila, conjuntamente con otras modificaciones ocasionadas también por la actividad microbiana dan lugar a una sucesión de poblaciones con diferentes actividades metabólicas y tolerancia térmica que conducen a la estabilización de la materia orgánica generando un producto rico en humus.

Las propiedades físicas y químicas de los materiales a compostar influyen sobre el crecimiento de los microorganismos, cuya actividad, a su vez, modifica las propiedades de los sustratos. Existe por tanto una interacción entre cada uno de los factores y elementos influyentes en el proceso. Varios parámetros deben ser fijados al inicio del proceso y controlados durante el compostaje, los niveles de dichos parámetros están orientados a proporcionar las condiciones idóneas para el crecimiento aeróbico de microorganismos con generación de calor.

Así mismo, Golueke (1992), demuestra que la actividad microbiana está influida por los niveles de oxígeno, el balance y niveles de nutrientes y su accesibilidad, la temperatura y el pH. Para maximizar esta actividad y alcanzar los objetivos indicados, los sustratos a compostar deben ser convenientemente adecuados y se deben realizar determinadas operaciones durante el propio proceso, así como medidas que permitan detectar el correcto desarrollo del mismo.

Mediante estas actuaciones se modifican las propiedades físico-químicas de los sustratos y se manipula el proceso. Cualquier operación que maximice la actividad microbiana en el sentido indicado redundará en un incremento en la eficacia del compostaje.

### **1.5.1. Definición y etapas del proceso**

El compostaje de los residuos orgánicos, como demuestra Iannotti (1994), es un proceso biotecnológico que combina fases mesófilas y termófilas, sumamente eficaz en la descomposición y estabilización de la materia orgánica como consecuencia de las actividades metabólicas combinadas de una amplia gama de microorganismos, cuyo crecimiento está condicionado por la temperatura de la masa, el porcentaje de humedad y la concentración de oxígeno, así como la naturaleza variable del sustrato.

El compostaje es, por tanto, un proceso de transformación microbiana de la materia orgánica. Las poblaciones que intervienen varían continuamente, sustituyéndolo de unos grupos a otros, ya que el carácter dinámico del proceso implica la aparición gradual de diferentes sustratos y distintas condiciones ecológicas.

De esta manera, el proceso de compostaje, se define como la descomposición biológica aerobia de la materia orgánica en condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, seguida por una estabilización y maduración del producto.

Según Iannotti y col. (1994), en el compostaje de los residuos orgánicos se puede diferenciar dos fases:

- a) **Fase Biooxidativa:** donde predominan las reacciones enzimáticas degradativas de las moléculas orgánicas (en condiciones termófilas fundamentalmente).
  
- b) **Fase de Maduración:** con reacciones de condensación y polimerización semejantes al proceso de humificación en el medio natural.

La separación en el tiempo de estas dos fases es realmente artificial y se realiza por motivos prácticos ya que ambos procesos, aunque comportan velocidades de reacción diferentes, son interdependientes en ciertos aspectos y en parte presentan un elevado grado de simultaneidad.

En efecto, en la fase biooxidativa predominan las reacciones biodegradativas a altas temperaturas, pero también ocurren, en menor medida, reacciones de condensación típicas de la humificación, sobre todo al final de esta fase, fundamentalmente con productos de degradación de la lignina.

Por el contrario, en la fase de maduración, aunque predominan las reacciones de condensación y polimerización a baja temperatura, aún perdura una cierta actividad biooxidativa, fundamentalmente de las fracciones o polímeros más bioresistentes, fundamentalmente celulosa y lignina debido a poblaciones de hongos y actinomicetos mesófilos. Por tanto, se puede decir que al final de la fase biooxidativa el compost estabilizado ha adquirido cierto grado de madurez que puede ser suficiente en algunos casos para su utilización agronómica.

### 1.5.2. Factores para el proceso del compostaje

Como demuestra Rynk y col. (1992), las características físicas de los sustratos para compostaje, que influyen de forma más decisiva sobre el compostaje, son la humedad, el tamaño de partícula y el pH. A estos debe añadirse su composición química, que, aunque no constituye un aspecto físico químico del sustrato, es preciso considerarlo por la importancia que tiene a la hora de adecuar los sustratos para compostaje. Respecto al proceso en sí, los factores clave son la temperatura y la aireación, ambos relacionados a su vez con el tamaño de la pila. En la Tabla 3, se muestran los parámetros físico químicos relevantes durante el proceso, como la humedad y el pH.

**Tabla 3. Parámetros físico-químicos de sustratos para compostaje (Rynk y col. 1992).**

Fase operacional	Factor
Preparación del Sustrato	Balance de nutrientes y biodegradabilidad
	Tamaño de partícula y porosidad
	Humedad
	pH
Proceso	Tamaño de la pila
	Temperatura
	Humedad
	pH
	Aireación

Además, Rynk (1992), indica que las características de los sustratos para compostaje deben ser medidas y adecuadas a valores correctos para que el proceso se desarrolle de forma idónea. La utilización de un sustrato inadecuado o incorrectamente preparado tiene un impacto decisivo en el proceso, de tal forma que puede ocasionar que el compostaje no prolifere.

En la Tabla 4, se muestran los parámetros que actúan en el sustrato de compostaje (principalmente la relación C/N), el tamaño de partícula, la humedad y el pH.

**Tabla 4. Parámetros físico-químicos de sustratos para compostaje (Rynk 1992).**

<b>Parámetro</b>	<b>Rango razonable</b>	<b>Rango preferido</b>
<b>C/N</b>	20-40	25-30
<b>Humedad (%)</b>	45-65	50-60
<b>Tamaño de partícula (cm)</b>	0,5-5,0	0,5-2,5
<b>pH</b>	5,5-8,0	5,5-8,0

### **a) Relación C/N**

La relación carbón nitrógeno (C/N), según Theisen y Tchobanoglous (1993), constituye uno de los aspectos más importantes en el balance de nutrientes totales para los sustratos de compostaje. Para la mayoría de sustratos, se considera óptima en el material de partida una relación C/N de 25 a 30, siendo el valor de 30 óptimo.

Este requerimiento está en función de las diferencias en las cantidades de los dos elementos utilizados por los microorganismos en el metabolismo energético y de biosíntesis de nuevo material celular.

Para calcular las proporciones en que dos o más residuos orgánicos deben mezclarse para alcanzar la relación C/N adecuada es preciso conocer sus contenidos en C y N, así como su humedad. Sustituyendo en la fórmula siguiente se puede conocer la composición de la mezcla:

### **Ecuación 1. Relación C/N.**

$$R = \frac{W_1[C_1 \times (100 - M_1)] + W_2[C_2 \times (100 - M_2)] + W_3[C_3 \times (100 - M_3)] + \dots}{W_1[N_1 \times (100 - M_1)] + W_2[N_2 \times (100 - M_2)] + W_3[N_3 \times (100 - M_3)] + \dots}$$

Donde:

**R:** Relación C/N de la mezcla

**W<sub>n</sub>:** masa del material n (peso seco)

**C<sub>n</sub>:** carbono (%) del material n

**N<sub>n</sub>:** nitrógeno del material n

**M<sub>n</sub>:** humedad (%) del material n

Debido a que son escasos los residuos que contienen la relación C/N óptima, en general se suelen realizar mezclas de distintos materiales para alcanzarla. El contenido en los dos elementos se mide mediante análisis elemental, pero como guía práctica los residuos frescos y verdes (Residuos vegetales, abono fresco de aves y cerdo, alfalfa, pasto, entre otros) suelen tener un elevado contenido en nitrógeno, mientras que los secos y no verdes (abono de caballo, hojas, virutas de la madera, periódico, paja, aserrín, entre otros) son deficitarios en carbono.

**Tabla 5. Contenido elemental de C y N de sustratos para compostaje  
(Theisen y Tchobanoglous 1993).**

Material	%C	%N	C/N
<b>Residuos de procesamiento de alimentos</b>			
Residuos de frutas	52,2	1,5	34,8
Cáscaras de patatas	37,5	1,5	25
<b>Excrementos</b>			
Vaca	57,5	2,3	25
Caballo	74	3,7	20
Ave	94,5	6,3	15
Oveja	81,4	3,7	15
<b>Lodos o fangos</b>			
Activados de depuradora (digeridos)	29,83	1,9	15,7
Activados de depuradora	35,28	5,6	6,3
<b>Maderas y paja</b>			
Restos de aserradero	17	0,1	170
Serrín	20-50	0,1	200-500
Paja de trigo	38,4	0,3	128
Madera de pino	50,61	0,07	723
<b>Papel</b>			
Mezcla	43,25	0,25	173
Periódico	49,15	0,05	983
Cartón	44,9	0,01	4490
Revistas	32,9	0,07	470
<b>Residuos de jardinería</b>			
Cortaduras de césped	43,22	2,15	20,1
Hojas frescas	20-80	0,5-1,0	40,0-80,0
Bermuda grass	47,04	1,96	24

## **b) Biodegradabilidad**

Según, Chandler y col. (1980), no todos los materiales que tienen similar contenido en los elementos mencionados son compostados de igual forma. El tipo de moléculas que componen la materia orgánica y que incluyen dichos elementos determina la biodegradabilidad del material. La capacidad de los microorganismos para asimilar la materia orgánica depende de su habilidad para producir las enzimas necesarias para la degradación del sustrato.

Un tamaño molecular elevado, así como, la presencia de enlaces químicos complejos dificulta la degradación por parte de algunos microorganismos y, por tanto, el proceso global de descomposición de la materia orgánica se produce más lentamente. Así, las moléculas orgánicas monoméricas (azúcares y aminoácidos) son más fácilmente degradadas que las poliméricas como las proteínas, los lípidos, la hemicelulosa, la celulosa, la quitina y la lignina, en orden decreciente de biodegradabilidad.

De hecho, la biodegradabilidad de la materia orgánica se ha relacionado con el contenido en lignina de acuerdo con la fórmula propuesta por Chandler y col. (1980), originalmente para procesos de digestión anaerobia:

### ***Ecuación 2. Fracción Biodegradable.***

*Fracción biodegradable*

$$= 0,83 - (0,028 \times \text{Contenido en lignina en \% sólidos volátiles})$$

De acuerdo con esta fórmula, un sustrato que no contenga lignina solo podrá alcanzar un máximo de degradación del 83%, debido a que la descomposición de un sustrato orgánico está acoplada con la producción de subproductos bacterianos, algunos de los cuales no son degradables. Tal y como también se deduce de la fórmula, cuanto mayor es el contenido en lignina menor será la biodegradabilidad anaerobia del sustrato.

Sin embargo, esta fórmula no es completamente aplicable a un proceso de compostaje, ya que al contrario de lo que ocurre en los procesos anaeróbicos, la lignina puede ser parcialmente degradada en presencia de oxígeno.

### **c) Tamaño de partícula**

De acuerdo a Richard y col. (1996), el tamaño, forma y densidad de las partículas de los sustratos para compostaje afectan al proceso debido a que influyen sobre la aireación y la disponibilidad de nutrientes.

Las partículas pequeñas tienen mayor superficie por unidad de masa o volumen (superficie específica) que las partículas grandes. Por ello, si la aireación es adecuada y hay suficiente cantidad de agua, las partículas pequeñas se degradan más rápidamente que las de mayor tamaño. Además, un menor tamaño de partícula facilita la homogeneización y mezcla de los materiales, y favorece el aislamiento térmico, lo que ayuda al mantenimiento de las temperaturas óptimas durante todas las etapas del proceso.

Además del tamaño, factores como la porosidad y la densidad del material determinan también la accesibilidad hacia los nutrientes y el intercambio de gases. Estos factores junto con la forma de las partículas afectan el modo en que las distintas partículas se empaquetan, de modo que se puede reducir el espacio libre entre partículas limitando de esta forma el intercambio gaseoso.

Según, Kayhanian y Tchobanoglous (1992), dependiendo del tipo de material o del sistema de compostaje elegido se recomiendan tamaños de partícula entre 0,5 y 5 cm, correspondiendo el límite inferior a compostajes en pilas volteadas o con aireación forzada y el superior para pilas estáticas o aireadas pasivamente. Un tamaño de partícula excesivamente pequeño o con elevada densidad puede provocar la compactación del material, inhibir el movimiento del oxígeno y por tanto generar condiciones de anoxia.

Una de las operaciones de pretratamiento que se recomiendan para adecuar los sustratos para compostaje consiste en triturarlos, procedimiento que puede doblar la tasa de descomposición respecto a la obtenida en sustratos no triturados. Existen distintos tipos de maquinaria para triturar los residuos orgánicos, generalmente se utilizan molinos de martillos o de cuchillas.

Adicionalmente, algunos de los problemas indicados pueden evitarse incorporando agentes estructurantes o acondicionadores constituidos por partículas grandes, tales como, virutas de madera o ramas trituradas, que facilitan la aireación a través del material a compostar. Al final del proceso estos agentes no habrán sido degradados y pueden separarse mediante criba del compost y ser reutilizados.

#### **d) Humedad**

En cuanto a humedad, Goyal y col. (2005), manifiestan que la presencia de agua en los materiales a compostar es imprescindible para el transporte de sustancias y nutrientes, de modo que los hace accesibles para los microorganismos. Además, de ser esencial para el crecimiento microbiano, el contenido en humedad del material de partida también influye en el intercambio de gases y calor durante el proceso.

La humedad en la masa de compostaje debe ser tal que el agua cubra las necesidades para el crecimiento microbiano pero que no ocupe todos los poros de la misma de modo que permita el intercambio de gases, conservandose las condiciones aeróbicas. Una humedad inicial del 50 al 60% por peso se considera generalmente óptima para el compostaje debido a que proporciona suficiente agua para mantener la actividad microbiana sin bloquear el intercambio de gases.

Estos valores óptimos pueden variar dependiendo del tipo de sustrato y su capacidad para retener agua. De modo que la misma humedad en % de materia seca puede ocasionar amplias diferencias en la disponibilidad de agua. Así, algunos

materiales requieren un contenido en agua del 75 al 90% (serrín, paja), mientras que otros (residuos de alimentos, césped) solo necesitan entre un 50 y un 60%.

Niveles de humedad menores del 40-45 % originan un descenso en la actividad microbiana, principalmente la bacteriana, ya que los hongos permanecen biológicamente activos a humedades más bajas. Sin embargo, humedades por debajo del 20 % inhiben casi totalmente dicha actividad y, por tanto, el proceso de compostaje. Un exceso de agua (>65% de humedad), afecta negativamente a la disponibilidad de oxígeno y podría originar condiciones de anaerobiosis (mal olor) y un lavado de nutrientes por lixiviación.

Los sustratos susceptibles de compostaje presentan rangos de humedad muy variados que van desde el 10 o 15% para residuos vegetales secos (no verdes) al 80-90% para residuos verdes o lodos de depuradora. Para poder ajustar la humedad a los niveles óptimos debe medirse primero la humedad de los materiales a compostar. Para ello un peso conocido de la muestra se deseca durante 24h en un horno a 105 °C y posteriormente se pesa nuevamente.

El cálculo de la humedad de la muestra se realiza aplicando la siguiente fórmula:

### ***Ecuación 3. Humedad del Sustrato.***

$$M_n = \frac{W_w - W_d}{W_w} \times 100$$

**M<sub>n</sub>**: Humedad del sustrato (%)

**W<sub>w</sub>**: Peso inicial (antes del secado)

**W<sub>d</sub>**: Peso de la muestra seca

De acuerdo a Goyal y col. (2005), el ajuste de la humedad en los materiales muy secos es fácil, basta con incorporar la cantidad de agua necesaria, teniendo en

cuenta la humedad que ya presenta el material. En el caso de materiales con excesiva humedad la corrección es más difícil. Se pueden mezclar con otros residuos más secos o bien se dejan secar antes de su compostaje.

### **e) pH**

En el caso de pH, estudios realizados por Lei y Gheynst (2000), señalan que materiales con un amplio rango de pH (de 3 a 11) pueden ser compostados con éxito. Sin embargo, se considera que el rango óptimo se encuentra entre 5,5 y 8,0 debido a que es el intervalo de pHs en el que se desarrollan la mayoría de los microorganismos.

Por un lado, las bacterias prefieren los valores de pH comprendidos entre 6 y 7,5, mientras que los hongos toleran un rango más amplio que puede oscilar entre 5,5 y 8. Si el pH desciende por debajo de 6, los procesos de descomposición microbianos, especialmente por parte de las bacterias, se detienen.

Los valores de pH cercanos o superiores a 9, favorecen la conversión del nitrógeno en amonio, afectando en general de forma negativa al crecimiento de los microorganismos, y deteniéndose también el proceso de biodegradación de la materia orgánica.

En la práctica, el pH de un material a compostar no puede cambiarse fácilmente. Valores elevados de pH en el material de partida, conjuntamente con elevadas temperaturas ocasionan pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco. No obstante, el rango de actividad de los microorganismos del compostaje es tan amplio que el pH inicial del material de partida raramente tiene efecto en el desarrollo del proceso, aunque posiblemente influirá en los valores de pH del compost final.

## **f) Temperatura**

En relación a temperatura, Haug (1993), demuestra que una vez que el material a compostar ha sido convenientemente preparado en lo relativo a su composición, estructura y tamaño de partícula y humedad, para que el proceso de compostaje comience debe apilarse de tal forma que el calor que se genera por la actividad microbiana no se disipe. La variación térmica (temperatura) es el factor clave durante el desarrollo del proceso.

La producción de calor depende además del tamaño de la pila, de la humedad, la aireación y la composición del material de partida, principalmente su relación C/N y biodegradabilidad. El mantenimiento del calor en el interior de la pila de compostaje está condicionado en primera instancia por el tamaño y la forma de la pila de compostaje que impide que el calor generado se pierda. La pérdida de calor desde la pila puede ocurrir por tres mecanismos.

Cualquier metabolismo, desde el microbiano al humano, genera inevitablemente calor. Esto es de hecho una consecuencia de la 2a ley de la termodinámica, solo parte de la energía consumida puede ser transformada en trabajo útil, mientras que el resto es liberado como calor para incrementar la entropía del entorno

De acuerdo a Haug (1993), la temperatura es uno de los factores que influye de forma más crítica sobre la velocidad de descomposición de la materia orgánica durante el compostaje. Las temperaturas óptimas del proceso se encuentran entre 45 y 59 °C. Temperaturas menores de 20 °C frenan el crecimiento microbiano y, por tanto, la descomposición de los materiales. Por otro lado, si la temperatura es superior a 59 °C se inhibe el desarrollo de gran parte de los microorganismos o provoca su eliminación, con lo que se reduce la tasa de descomposición microbiana.

Por otro lado, Moreno y Mormeneo (2008), explican que la temperatura se puede monitorizar a lo largo del proceso de compostaje mediante la inserción de sondas

de temperatura en el interior de la pila. Esta medida es imprescindible para determinar si el proceso está evolucionando de forma adecuada. Cuando el perfil térmico no sigue la pauta esperada se debe diagnosticar la causa del fallo y corregirlo en caso de que ello sea posible.

Existen variadas situaciones que pueden conducir a que la pila no se caliente o que por el contrario alcance temperaturas demasiado elevadas. Algunas de dichas situaciones se han descrito previamente. La correcta adecuación del sustrato, el suministro de aire forzado y las operaciones de volteo constituyen las principales medidas para solucionar problemas en la evolución de la temperatura durante el compostaje.

### **g) Aireación**

Según Goyal y col. (2005), la presencia de un nivel óptimo de oxígeno durante el compostaje puede acelerar el proceso entre 10 y 20 veces, en relación a lo que ocurre bajo condiciones de anaerobiosis. Además, la ausencia de oxígeno, como se ha indicado en apartados anteriores, tiende a generar malos olores debido a la presencia de gases tales como sulfuro de hidrógeno o metano.

Para que se lleve a cabo de forma óptima la degradación de la materia orgánica, los microorganismos presentes inicialmente en los materiales que se van a compostar, necesitan oxígeno libre. Si esto no es así, se favorece la actividad de los microorganismos anaerobios y el proceso no se desarrolla de forma adecuada. Además, la aireación de los materiales sirve para controlar la temperatura y la humedad durante el proceso.

La porosidad de los materiales, el volteo periódico de los mismos o un sistema de aireación forzada mediante succión o presión, son factores que favorecen la existencia de buenas condiciones de aireación, evitando así que los niveles de oxígeno descendan por debajo del 5 %. En general se recomiendan niveles óptimos

de oxígeno entre 10 y 18%. No obstante, un exceso de aireación puede ser también perjudicial, provocando el secado excesivo de los materiales e impidiendo así el desarrollo normal del proceso.

La forma más rápida y económica de controlar la concentración de oxígeno durante un sistema de compostaje es el volteo periódico de los materiales. Este mecanismo, además de permitir la homogeneización de los materiales, incrementa la porosidad y favorece la exposición de los mismos a las altas temperaturas que se generan dentro de la pila, con lo que el material queda correctamente higienizado.

Debido a la fragmentación de partículas del material y, por tanto, al aumento de la superficie de contacto, se produce una brusca demanda de oxígeno en la base de la pila, generando condiciones de anaerobiosis que desaparecen a las pocas horas de llevarse a cabo el volteo.

### **1.5.3. Sistema de compostaje**

De acuerdo a Epstein (1997), la forma y tamaño de la pila va a depender del sistema de compostaje que se utilice:

- **Sistemas pasivamente aireados:** en los que el acceso del oxígeno depende de la convección natural y difusión las pilas normalmente tienen un área superficial grande para facilitar el movimiento del aire, con la correspondiente pérdida de calor por convección. Esta gran superficie también da lugar a pérdidas de calor por radiación y conducción.
- **Sistema con aireación forzada:** la pérdida de calor por convección se incrementa, aunque esto puede reducir la temperatura de la pila. Al igual que en sistemas con aireación pasiva, el tamaño ideal de la pila depende de las características del material a compostar y la geometría del sistema de

compostaje. Para la mayoría de materiales, en sistemas que utilizan aire ambiente, la altura máxima es de 2 a 3 m.

- **Sistemas en túnel:** en estos sistemas se recicla el flujo de aire, o permiten utilizar aire precalentado, lo que permite aumentar el tamaño del reactor manteniendo un grado tolerable de control.

#### **1.5.4. Evaluación de la calidad del compost**

El concepto de estabilidad biológica del compost, como indica Iannotti y col. (1994), se entiende como la tasa o grado de descomposición de la materia orgánica, que se puede expresar como una función de la actividad microbiológica y se determina normalmente por medidas respirométricas (medida del consumo de O<sub>2</sub> o liberación de CO<sub>2</sub>), o por la liberación de calor como resultado de la actividad de los microorganismos.

La evaluación de la madurez del compost, como señalan Zucconi y col. (1981), ha sido reconocida como el más importante problema concerniente a su utilización agronómica, ya que la aplicación a los suelos de cultivo de un compost inmaduro es una de las causas más frecuentes de los fracasos observados en ocasiones en el rendimiento de los cultivos. Pues bien, la determinación correcta del grado de madurez de la materia orgánica, constituye en la actualidad un problema pendiente en relación al control del proceso de compostaje, para la obtención de compost de alta calidad.

De esta manera, Masaguer y Benito (2008), demuestran que los requerimientos de calidad del compost deberían ir dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables, correcta higienización, inertes y contaminantes sin superar un nivel de trazas, nivel conocido de componentes agronómicamente útiles, y características homogéneas y constantes. Además, debe de poder ser almacenado sin experimentar

alteraciones. Los aspectos más destacables que afectan a la calidad del compost son: el material inicial, el proceso de compostaje y las condiciones de almacenamiento.

Por otro lado, Iglesias y Alvarez (1993), explican que la aplicación de un compost con un grado de madurez insuficiente provoca como efecto más sobresaliente un bloqueo biológico del nitrógeno asimilable del suelo por las poblaciones de microorganismos, lo cual puede dar lugar a graves deficiencias de N en la planta y por tanto a un efecto depresivo en el rendimiento de los cultivos.

Para evitar estos posibles efectos negativos y obtener compost de alta calidad es imprescindible establecer correctamente el grado de madurez, mediante el empleo de métodos rápidos y sencillos. Sin embargo, la mayoría de los métodos utilizados en la actualidad no son definitivamente concluyentes, por lo que respecta al producto final cultivos.

Así mismo, Nogales y Gallardo (1984), manifiesta que la mayoría de métodos o criterios, están basados en el estudio de la evolución de determinados parámetros físico-químicos y bioquímicos a lo largo del proceso de compostaje, cuyo comportamiento es un reflejo de la actividad metabólica de los microorganismos implicados en el proceso.

Además, Senesi (1989), demuestra que algunos de estos criterios son aplicados comúnmente, pero solo dan una idea aproximada del grado de estabilidad del compost, por lo que han de considerarse como meramente orientativos. No obstante, pueden ser suficientes para una aplicación práctica en plantas de compostaje, fundamentalmente la evolución de la temperatura.

Según, Soliva (2001), los parámetros que pueden utilizarse para valorar la calidad del compost se resumen en físicas, químicas y biológicas. Los test o métodos

propuestos para la evaluación del grado de madurez, según la naturaleza del parámetro que se evalúan.

- **Temperatura**

- Según, Iglesias y col. (2008), la evolución de la temperatura durante el compostaje es un reflejo de la actividad metabólica de los microorganismos implicados en el proceso, por lo que es un buen indicador del final de la fase bio-oxidativa en la cual el compost ha adquirido cierta madurez, ya que la curva de temperatura se estabiliza definitivamente.

- **Carbono Extraíble**

- De acuerdo a Iglesias y Pérez (1992), numerosos autores han propuesto la riqueza total en C húmico como índice de madurez dado que en residuos agrícolas y estiércoles normalmente se observa un incremento en la riqueza de C húmico. Pero en el caso de compostaje de RSU y lodos el C húmico total permanece constante durante todo el proceso. Por lo tanto, el porcentaje de C húmico total no puede considerarse como un índice adecuado de humificación de materia orgánica.

- **Relación AH/AF**

- Según, Iglesias y Pérez (1992), durante el compostaje de residuos no existe una auténtica síntesis de nuevas sustancias húmicas y lo que ocurre es un incremento paulatino de la tasa de polimerización, incremento de la fracción de AH (ácido húmico), por transformación, reestructuración y condensación de sustancias que se pueden adscribir a AF (tipo fulvo ácidos).

- Por lo que se puede decir que la fracción de AH se forma paulatinamente a partir de la fracción de AF (ácido fúlvico). Por lo tanto, el ratio AH/AF puede considerarse como índice de humificación y constituye un parámetro importante para deducir el grado de madurez del compost.

- **Carbono Orgánico**

- Según, Iglesias y Pérez (1992), muchos autores han propuesto, como alternativa a la reacción C/N tanto en fase sólida como acuosa, la determinación del Cw como simple índice de madurez, ya que siempre se observa un descenso paulatino durante el compostaje, hasta una práctica esterilización. Sin embargo, los valores límites propuestos varían considerablemente, dependiendo del material inicial.

- **Capacidad de Intercambio Catiónico**

- Como indica, Roig y col. (1988), aumenta progresivamente a medida que progresa la humificación de la materia orgánica, ya que el incremento del grado de polimerización provoca un aumento considerable de la superficie específica de las macromoléculas húmicas y un aumento progresivo de grupos carboxilos, aunque en menor medida.
- Este incremento de la CIC ha sido descrito por numerosos autores en todo tipo de residuos y por lo tanto ha sido aceptado universalmente como criterio de madurez e indirectamente como criterio de humificación de materiales orgánicos.

- **Método de Germinación**

- Como indica Zucconi y col. (1981), el más generalizado utiliza semillas y calcula un índice de germinación que combina el porcentaje de germinación y la longitud media de las raíces.

- **Método de Crecimiento**

- Supone la evaluación del efecto del compost sobre distintos vegetales, siendo los más corrientes el maíz y la cebada. Por todos los métodos expuestos anteriormente, se puede presumir el grado de dificultad que supone la determinación del índice de madurez universal y extrapolable a todos los materiales compostables y sin olvidarnos que en general la calidad del producto dependerá principalmente de los materiales de origen y de las condiciones de temperatura, humedad y aireación que existan durante el proceso.

## II. OBJETIVOS

En las últimas décadas, el aumento de la actividad agropecuaria de tipo intensivo ha tenido como consecuencia un incremento considerable de la producción y acumulación de residuos, especialmente los orgánicos. La variedad de residuos orgánicos que se pueden emplear para compostaje es bastante amplia, aunque la elección de los materiales que combinen adecuadamente para generar un buen producto final, como el estudio de las técnicas de manejo del proceso de compostaje son factores muy importantes y que siempre requiere de ensayos previos para su posible escalado a nivel industrial.

La Comisión Europea presentó en diciembre de 2015 el Paquete de Economía Circular, integrado por el plan de acción “Cerrando el círculo” y un paquete normativo que revisa varias directivas de residuos, fundamentalmente la Directiva 2008/98/CE marco de residuos, que en la consideración 22 dice que hay que establecer criterios claros para establecer el fin de condición de residuos, de entre otros materiales de aquellos que quieran denominarse compost.

El nuevo modelo de gestión de residuos, de acuerdo con las opciones de gestión según las Directivas Europeas (prevención en la generación, reducción en origen, preparación para la reutilización, reciclado de calidad), sirve de base para una nueva planificación tanto estatal como autonómica de residuos basada en los principios de la economía circular, según el nuevo paquete de economía circular aprobado por la UE de 30 de mayo de 2018 a través de las Directivas 2018/849, 2018/850, 2018/851 y 2018/852.

El papel del compostaje como técnica clave para la gestión de los residuos dentro de la economía circular junto con el empleo de otras formas de gestión de residuos, contribuye a la aplicación y desarrollo de las orientaciones establecidas en el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022 y origina beneficios de carácter:

- **Ambiental:** la correcta gestión de los residuos garantiza la protección de la salud humana, de la atmósfera, de las aguas y del suelo y contribuye a proteger el clima.
- **Económico:** asociados a la actividad empresarial relativa a los residuos y al incremento de la disponibilidad de materias primas empleadas en condiciones seguras.
- **Social:** asociados a la creación de empleo derivada del fomento de la preparación para la reutilización y del reciclado.

A nivel de nuestra Comunidad, el Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana (PIRCVA) (RD 55/2019) DOGV N° 85367 26.04.2019, se basa en una transición hacia un nuevo modelo de gestión de residuos. De acuerdo con las opciones de gestión jerárquicamente prevalentes según las Directivas Europeas, donde en el artículo 22 del citado plan, se establecen los objetivos de reciclado para diversas tipologías de residuos y en el apartado g) Residuos agrícolas, como son los restos de paja que se emplean en este trabajo.

Destaca, entre otras cosas que la Generalitat, junto con a las organizaciones profesionales agrarias y otros agentes económicos y sociales, promoverá la elaboración de un plan específico de gestión de residuos agrícolas, donde se especifique cada tipo de residuos, con la mejor solución técnica-económica-ambiental para la gestión de cada residuo, pudiendo, en este sentido, de común acuerdo entre las partes implicadas, los eco parques vigilados presencialmente prestar servicio de apoyo para la mejora de la gestión de determinados residuos agrícolas, como residuos de envases fitosanitarios o restos de podas agrícolas.

En la medida de querer profundizar en el empleo de nuevas estrategias de manejo del proceso de compostaje, este trabajo tiene como objetivo general el siguiente:

Estudiar el proceso de compostaje de estiércol de vaca con paja, junto con el empleo o no de preparados biodinámicos, combinados a su vez con ensayos de tipos de manejo en la forma del volteo de las pilas, para ver su influencia en las características de los distintos tipos de compost obtenidos.

Para lograr este objetivo general se establecen los siguientes objetivos concretos:

- Caracterización inicial de los residuos a compostar.
- Seguimiento de los parámetros indicadores del proceso de compostaje, a nivel de temperatura y aireación.
- Estudio de la evolución del proceso de compostaje, así como del producto final obtenido (compost).

### III. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Diseño experimental

El diseño experimental de este estudio se basó en la metodología en fases que se describe a continuación.

- a. Caracterización inicial de los residuos a compostar.
- b. Desarrollo del sistema de compostaje.
- c. Análisis de las características fisicoquímicas y químicas de los materiales a compostar, así como del producto final obtenido (compost).

##### 3.1.1. Caracterización inicial de los residuos a compostar.

En esta fase, se plantea la naturaleza de los residuos que van a intervenir en el proceso de compostaje, con el fin de establecer con posterioridad una estrategia de compostaje adecuada en función de la tipología de estos materiales. Los materiales utilizados en las pilas de compostaje son:

- a. **Estiércol de Ganado Bovino con Paja:** proveniente de la finca Santa Bárbara, ubicada en Liria, Valencia.
- b. **Basalto micronizado:** de origen comercial.
- c. **Preparados Biodinámicos:** compuestos de arcilla y residuos, vegetales provenientes de la finca Santa Bárbara, ubicada en Liria, Valencia.

### **3.1.2.Desarrollo del sistema de compostaje**

Una vez caracterizados los residuos a compostar, se desarrolló el sistema de pilas de compostaje en las instalaciones de finca Santa Bárbara, ubicada en Liria, Valencia, donde se controlaron las condiciones de entorno a nivel de aireación, temperatura y humedad.

Para esto, se realizó la preparación de tres pilas de compostaje a base de estiércol de ganado bovino con paja y basalto micronizado. En la figura 5, se muestran, las pilas de compostaje que tiene una dimensión cada una de 80 metros de longitud, 1,20 metros de ancho y 1,30 metros de alto, con una masa total de materia prima de 25 toneladas cada una.



***Figura 5. Pilas de compostaje en las instalaciones de finca Santa Bárbara.***

El control de la aireación se realiza mediante volteos periódicos, en este estudio, una de las pilas no se volteo y en las otras dos se realizaron volteos mecánicos. La temperatura se controla mediante mediciones periódicas tomadas por la persona encargada de realizar la toma de datos.

Durante el proceso de compostaje, se procedió a dividir cada una de las tres pilas, para obtener otras tres pilas nuevas, a las cuales se les incorporó preparados biodinámicos de arcilla con residuos vegetales.



**Figura 6. Volteo a pilas de compostaje en las instalaciones de la finca Santa Bárbara.**

De esta manera se establecieron en total seis pilas de compostaje, con tipos de volteo diferente, incorporando a tres de ellas los preparados biodinámicos, con el fin de analizar su influencia en las características de los distintos tipos de compost obtenidos. En la Tabla 6, se muestran la nomenclatura utilizada para cada pila, así como su composición y tipo de sistema de volteo utilizado.

**Tabla 6. Pilas de compostaje de la finca Santa Bárbara**

<b>Tipo de Pila</b>	<b>Materiales</b>	<b>Sistema de Volteo</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>Orgánicas</b>	Estiércol de Ganado	Sin Volteo	SVO
	Paja	Volteo con Volteadora	VVO
	Basalto Micronizado	Volteo con Máquina	VMO
<b>Biodinámicas</b>	Estiércol de Ganado	Sin Volteo	SVB
	Paja	Volteo con Volteadora	VVB
	Basalto Micronizado	Volteo con Máquina	VMB
	Preparados Biodinámico		

### **3.1.3. Establecimiento de los parámetros de la muestra inicial a compostar**

En las muestras de los materiales iniciales se determinaron los siguientes parámetros analíticos:

- a) Humedad
- b) Densidad
- c) pH
- d) Conductividad eléctrica
- e) Materia orgánica
- f) Nitrógeno total
- g) Carbono orgánico
- h) Polifenoles solubles
- i) Contenido de P, K y Na

Una vez determinados los parámetros de los materiales iniciales, se procedió al análisis de la evolución de la mezcla a lo largo de todo el proceso, desde el inicio hasta la obtención del compost maduro. Esto se hace mediante el estudio de diferentes parámetros indicativos del proceso:

- a) Relativos al propio proceso de compostaje: evolución de la temperatura y humedad.
- b) Asociados a la evolución de la materia orgánica: materia orgánica, carbono orgánico, pérdida de la materia orgánica y relación entre el carbono orgánico total y el nitrógeno total.
- c) Asociados a la evolución de contenidos nutrientes como NPK y de Na en el compost, de interés para la nutrición vegetal a nivel agronómico.
- d) Asociados a la evolución de la fracción hidrosoluble: pH y conductividad eléctrica.

- e) Asociados a la madurez del compost: capacidad de intercambio catiónico e índice de germinación.

## 3.2. Dispositivo experimental

### 3.2.1. Características de los residuos utilizados

Las características de los materiales utilizados en el proceso de compostaje ensayado se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7. Parámetros iniciales de las muestras a compostar.**

Parámetros	Estiércol Vacuno (EV)	Basalto Micronizado (BM)
DA (kg /L)	0,309	1,382
Humedad (%)	51,4	3,6
pH	8,6	9,7
CE (dS/m)	6,5	0,8
MOT %	69,5	-
COT %	40,0	0,21
NT %	2,90	-
COT/NT	13,8	-
Na (g/kg)	2,77	0,34
K (g/kg)	6,34	0,59
P (g/kg)	1,48	0,22

El estiércol de vacuno utilizado en este estudio, se caracteriza por un pH básico y una CE elevada. su contenido en materia orgánica es también elevado y un buen contenido nutricional. Proviene de una explotación ganadera semi-extensiva, donde

en su manejo no se procura no utilizar productos potencialmente tóxicos por ello es un ingrediente adecuado para compostaje biodinámico. Se utiliza cama de paja, por lo que este estiércol tiene restos de paja. Además, este estiércol contiene una parte de paja, ya que esta se utiliza en el encamado de la explotación.

El basalto micronizado se caracteriza por ser un material inorgánico compuesto por diferentes minerales y que presenta un elevado contenido en sílice, alto contenido en Mg y Ca, así como en micronutrientes. Además, tiene un pH básico elevado y una CE baja. Es un producto muy utilizado en agricultura biodinámica debido a sus características

### **3.2.2. Dispositivo de compostaje utilizado**

El proceso de compostaje se ha desarrollado mediante un sistema de pilas de compostaje abierto, en la finca Santa Bárbara, ubicada en Liria, Valencia. Para llevar a cabo el montaje de las pilas se utilizó un tractor con apero de pala cargadora para formar tres pilas de 25 toneladas cada una.



**Figura 7. Volteadora de carga utilizada para el volteo de pilas de compostaje.**

Para los volteos periódicos que se realizaron se utilizó una volteadora mecánica y un tractor con apero de pala cargadora. También se dispuso de un sistema de riego para el control de la humedad y para el control de las temperaturas fueron tomadas por el propietario, encargada de registrar los para proceder a darle seguimiento.

### **3.3. Desarrollo experimental**

En este apartado se comentan todos los procesos y pasos seguidos para la realización del proceso de compostaje, su seguimiento analítico a lo largo del tiempo de experimentación, así como los procesos previos para la preparación de la mezcla a compostar.

#### **3.3.1. Preparación de las muestras**

Las muestras recolectadas de las pilas de compostaje, se llevaron al laboratorio, para el análisis de los parámetros físicos y químicos iniciales de la materia a compostar. Las muestras fueron trituradas para su homogeneización mediante un triturador mecánico con un tamiz de 4 mm de paso.

#### **3.3.2. Seguimiento del proceso de compostaje**

El seguimiento del proceso se basó fundamentalmente en el control de la temperatura y aireación mediante volteos. Las pilas se muestrearon a los 0 días (inicio de compostaje), a los 247 días (final de biooxidativa) y a los 281 días (final de maduración). Se realizaron los diferentes volteos, con la finalidad de homogeneizar el material y reactivar la temperatura de las pilas.

La fase biooxidativa del compostaje se consideró finalizada cuando la temperatura comenzó a descender siguiendo a la del ambiente y no hubo reactivación tras el volteo (día 247). Los compost se dejaron madurar durante un periodo de 34 días.

### 3.3.3. Control de volteos y otras operaciones realizadas.

En la Tabla 8, podemos observar las tareas que se han realizado en las pilas, desde su formación inicial hasta la recogida de la última muestra.

**Tabla 8. Cronograma del ensayo llevado a cabo.**

<b>Operación</b>	<b>Pilas</b>	<b>Fecha</b>	<b>Día de proceso</b>
Montaje de las pilas	SVO, VVO, VMO	9/9/2019	0
Volteo	VVO, VMO	19/9/2019	10
Volteo	VVO, VMO	14/10/2019	35
División de las tres pilas iniciales	SVO, VVO, VMO	6/11/2019	58
Adicción de basalto	SVO, VVO, VMO, SVB, VVB, VMB	6/11/2019	58
Volteo de homogeneización	SVO, VVO, VMO, SVB, VVB, VMB	6/11/2019	58
Volteo	VVO, VMO, VVB, VMB	19/12/19	101
Volteo	VVO, VMO, VVB, VMB	5/2/2020	119
Volteo	VVO, VMO, VVB, VMB	12/3/2020	185
Muestreo final de bio-oxidativa	SVO, VVO, VMO, SVB, VVB, VMB	13/5/2020	247
Muestreo final madurez	SVO, VVO, VMO, SVB, VVB, VMB	16/6/2021	281

### 3.4. Métodos analíticos

#### a) Preparación de las muestras

En la figura 6, se observan las muestras recogidas de las diferentes pilas de compostaje ubicadas en la finca Santa Bárbara, que están compuestas de estiércol de ganado bovino con paja, basalto micronizado y preparados biodinámicos, las cuales se secaron a 60 °C en una estufa de aireación forzada y posteriormente se trituraron para su posterior análisis.



**Figura 8. Preparado de las muestras en trituradora**

#### b) Determinación humedad

La humedad la determinamos por diferencia de peso entre la materia húmeda y la seca una vez secado el material a 105°C quedándonos un porcentaje de humedad.

### **c) Determinación materia orgánica total**

En los residuos vegetales y compost, se toma como materia orgánica la pérdida de peso por calcinación a 430 °C. La pérdida de peso se expresa como porcentaje respecto a peso de muestra seca. Se realiza mediante el método de Navarro y Col (1991).

### **d) Medida del Ph**

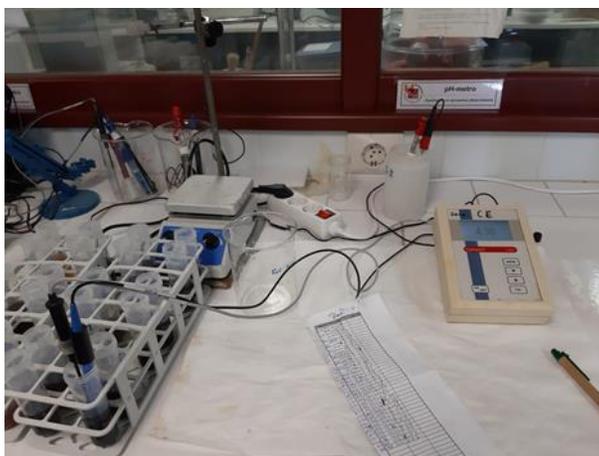
En la figura 7, se muestra la determinación del nivel de Ph, el cual se mide sobre la suspensión acuosa obtenida por agitación mecánica durante 2 horas de la proporción 1:10, sólido/líquido. La medida se realiza con un pH-metro por duplicado.



**Figura 9. Medida del Ph en las muestras.**

### **e) Determinación conductividad eléctrica**

Se determina sobre la suspensión acuosa anterior, previamente centrifugada y filtrada, con un conductímetro y también se realiza sobre dos submuestras para evitar posibles errores.



**Figura 10.** Medida de conductividad eléctrica de las muestras.

### **f) Determinación del carbono orgánico total y nitrógeno total**

Se realiza quemando la muestra a 1020°C en un analizador elemental. Para esto se utilizó la metodología descrita por Navarro y Col (1991).

### **g) Determinación polifenoles**

Se determinan los polifenoles solubles mediante extracción acuosa en relación 1:20 mediante la modificación del método Folin, descrito por Beltrán y col. (1999).



**Figura 11.** Determinación de polifenoles de las muestras.

## h) Determinación de los elementos totales

Los elementos totales (P, Na, K y metales pesados) se determinan, según la Norma UNE-EN ISO 11885 (2010), a partir de una digestión ácida de la muestra en mediante espectroscopia de emisión atómica de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) junto a un espectrofotómetro de emisión óptico (OES) constituyendo el equipo de ICP-OES.

## i) Determinación del índice de germinación

Se utiliza el método de Zucchini y col (1981), el cual se determina a partir de los porcentajes de semillas germinadas y la medida de la longitud de las raíces de semillas de berro (*Lepidium sativum* L.), incubadas a 27°C durante 48 horas en oscuridad sobre un extracto acuoso de compost (Figura 10).



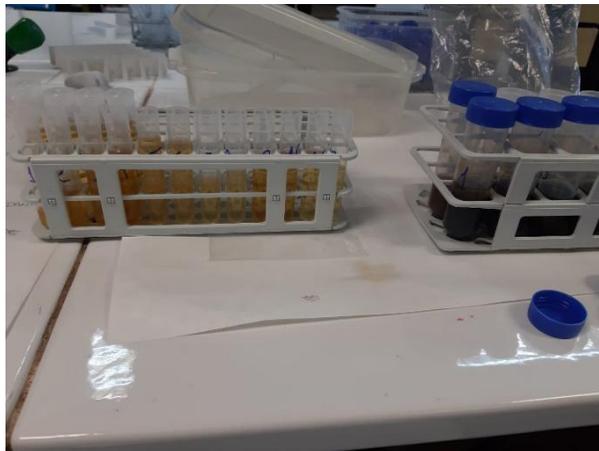
**Figura 12. Determinación del índice de germinación**

## **j) Determinación de capacidad de intercambio catiónico**

El método de determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico, está basado en la saturación del complejo de cambio con bario y la posterior determinación gravimétrica del catión retenido por diferencia con un blanco o control. Para llevar a cabo este proceso se utilizó la metodología planteada por Lax y col. (1986).

## **k) Determinación de ácidos húmicos, fúlvicos y carbono extraíble.**

Se realiza una extracción de la muestra con hidróxido sódico y se determina el carbono extraído en un analizador elemental, según la técnica de Sánchez y col (Sánchez, Roig, Paredes, y Bernal, 2001)



***Figura 13. Determinación de ácidos húmicos, fúlvicos y carbono extraíble.***

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1. Cambios de parámetros en el proceso**

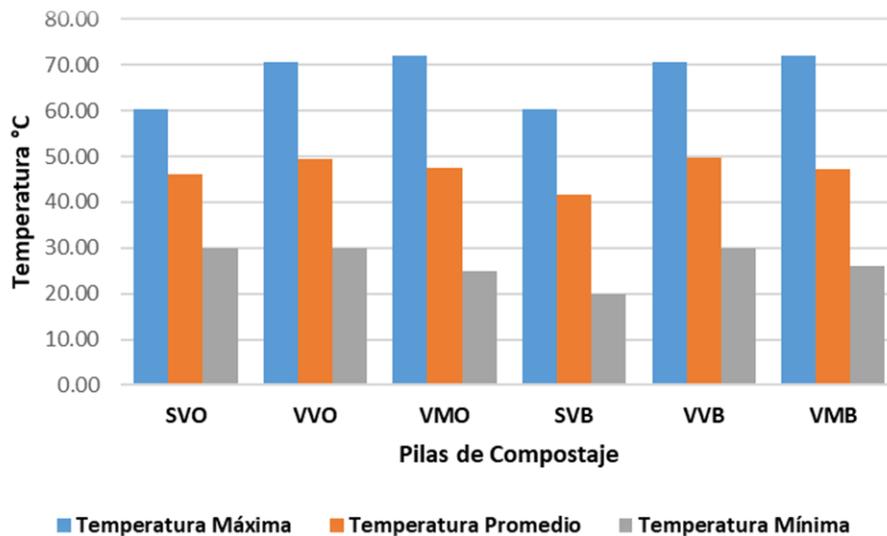
#### **5.1.1. Temperatura**

La temperatura, como indican Robinson y Stentiford (1993), es considerada uno de los parámetros fundamentales en el proceso de compostaje, debido a que el incremento de la actividad biológica genera calor, provocando un incremento de la temperatura durante el proceso y evolución. De esta manera, si al preparar un material o una mezcla para ser compostados, la temperatura no aumenta, no hay actividad microbiana y esto puede deberse a la falta de aireación, un contenido insuficiente de agua o elementos fitotóxicos en el medio.

Durante el proceso de compostaje, los microorganismos utilizan los sustratos orgánicos como fuente de carbono y energía en presencia de oxígeno. La energía generada en el proceso se disipa en forma de calor. Al incrementarse la temperatura hasta ciertos límites, se aceleran las actividades metabólicas microbianas propiciando la generación de más calor, hasta el punto donde la temperatura es tan excesiva que no permite la supervivencia de determinadas especies microbianas.

Las fases termofílicas y mesofílicas, suelen repetirse con las operaciones de volteo realizadas. Esto es debido a la reactivación de microorganismos que disponen de nuevos principios inmediatos para su metabolismo al homogeneizar la masa mediante el volteo, procedentes de la capa superficial y que prácticamente no habrían sido degradados a causa de la escasa humedad encontrada en el exterior de la pila. Esta secuencia de variación de temperatura, genera cada vez un menor incremento de temperatura, debido a la presencia cada vez menor de materia orgánica de fácil descomposición, que es en la que se basa el aumento de microorganismos.

En la Figura 14, se compara la evolución de la temperatura en el proceso de compostaje de un sistema abierto de pila a base de estiércol de ganado y preparados biodinámicos, controlado en diferentes fases de la pila. El resultado comparativo de los perfiles térmicos, de las 6 pilas de compostaje, muestra que se encuentran en fase biooxidativa, con una temperatura media superior a 40 °C, correspondiente a fase termófila, superando en más de 10 °C la temperatura del ambiente. Las temperaturas máximas promedio, obtenidas durante el proceso corresponden a las pilas VVO (49,5 °C) y VVB (49,7 °C.)

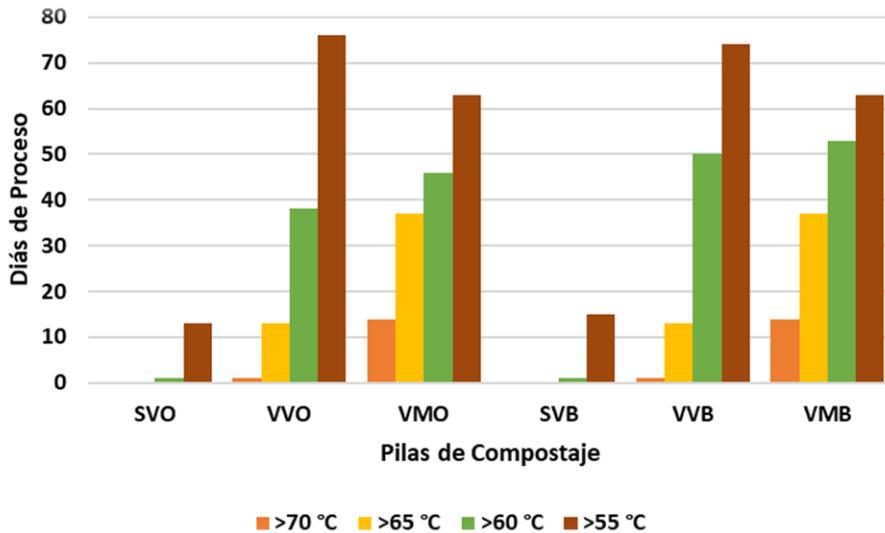


**Figura 14. Evolución de la temperatura en las pilas de compostaje.**

La figura 15, muestra la evolución térmica de las pilas, que presentó una duración total de la fase biooxidativa de 248 días. Las pilas VVO y VVB, registraron un período más prolongado de 227 días con una temperatura mayor a 50 °C. Además, en todas las pilas, a excepción de SVO, la temperatura se mantuvo por encima de 55 °C, durante el mínimo de 14 días, lo que indica que se cumplieron todos los requisitos de homogeneización establecido por el Reglamento UE 2019/1009 tabla 9.

De igual manera, Tovar Martínez (2013), elaboraron un estudio sobre compostaje de restos de poda de jardinería pública y estiércol de vaca, donde se obtuvieron valores de temperatura máxima de 42°C. Además, las pilas de compost con restos vegetales con aportación del estiércol, alcanzaron temperaturas bastante altas en la fase inicial, que fueron disminuyendo progresivamente con el tiempo.

En la Figura 15, se observa el cambio de temperatura en los días de proceso, donde las temperaturas mayores a 70 °C, se mantuvieron por 14 días, únicamente en las pilas VMO y VMB, indicando que el sistema de volteo mecánico, garantiza el cumplimiento de los niveles de higienización propuestos en Reglamento (UE) 2019/1009, donde se señala un mínimo de 3 días para este rango.



**Figura 15. Rangos de temperatura en los días de proceso de las pilas de compostaje.**

Las temperaturas mayores a 60 °C y 65 °C, se registraron por períodos de tiempo entre 13 a 33 días, en todas las pilas con un sistema de volteo activo, cumpliendo de esta manera con el Reglamento (UE) 2019/1009, que señala un mínimo de entre 5 y 7 días en este rango específico para una mayor garantía de higienización.

Sin embargo, las pilas SVO y SVB, no registraron haber alcanzado estos rangos de temperatura necesarios en el período de tiempo establecido, lo que puede generar problemas para la maduración del compost. Además, es indicativo de que un sistema de volteos controlado es necesario para estabilizar la temperatura del compost.

**Tabla 9. Niveles de higienización propuestos en Reglamento (UE) 2019/1009**

Temperatura	Días de proceso
>70 °C	3
>65 °C	5
>60 °C	7
>55 °C	14

De igual manera, los rangos de temperaturas mayores a 55 °C, se identificaron únicamente en cada una de las pilas con volteos, en los días establecidos por el Reglamento (UE) 2019/1009, para un mínimo de 14 días dentro de este rango.

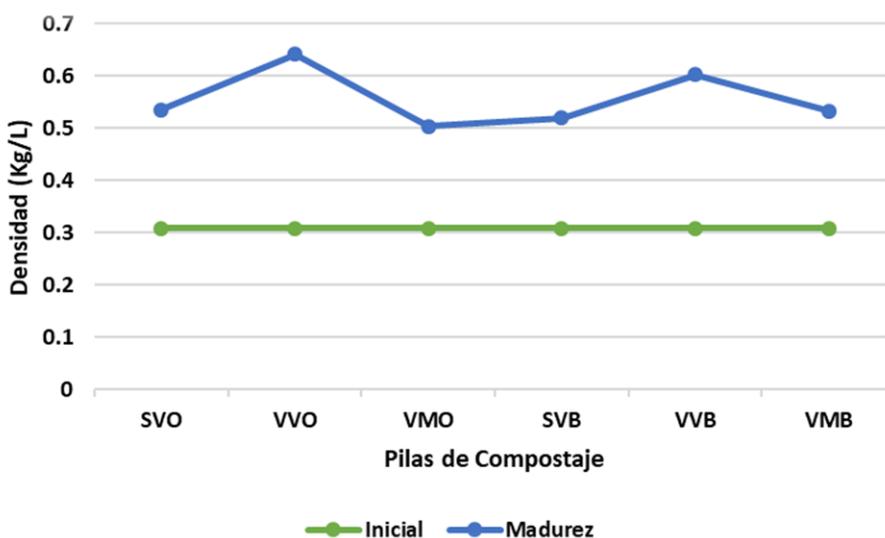
Así mismo, algunos estudios previos, como el llevado a cabo por Guixot (2018), sobre el compost elaborado a partir de residuos agrícolas y orientados en el ámbito de la agricultura ecológica, demuestran que los sistemas de pila abierto con volteos periódico, permiten alcanzar niveles de temperaturas/tiempo dentro del rango adecuado establecido.

### 5.1.2. Densidad aparente

La densidad aparente, según Little y Croteau (1994), está relacionada con la porosidad y el contenido de humedad y es una característica muy importante, en lo que respecta al funcionamiento del proceso aeróbico y a la ocupación y ordenación del espacio, sirve para realizar el cálculo de ocupación en la planta y por lo tanto el espacio necesario a la hora del diseño.

Una elevada densidad aparente, está asociada a una baja porosidad que puede inducir un deficiente establecimiento del proceso, debido a que se dificulta el paso del aire y a la larga se obtiene una estabilización inferior de la materia orgánica. Los principales factores que hacen variar el valor de la densidad aparente son el contenido de agua y la presencia de material que aporte estructura, como lo son los compuestos biodinámicas.

En la Figura 14, se muestra la evolución de la densidad aparente en cada una de las pilas durante el proceso de compostaje. La densidad aparente inicial de las pilas de compostaje es de 0,309 kg/L. En la fase de maduración, se muestra un aumento en la densidad aparente, hasta obtener un rango entre 0,504 kg/L y 0,642 kg/L.



**Figura 14.** Densidad aparente de las pilas de compostaje.

Según, Little y Croteau (1994), esto se debe a que a medida que avanza el proceso, el contenido total de materia, especialmente de agua y materia orgánica total disminuye y por consiguiente suele aumentar la densidad aparente. Por esto, al interpretar los valores resultantes de la densidad aparente, es preciso tener en cuenta estos dos factores. Sin embargo, aunque la densidad inicial no sea favorable, con un buen manejo y volteos periódicos se puede generar una adecuada aportación de aire, que mejora el proceso.

## **5.2. Fracción hidrosoluble**

### **5.2.1. Humedad**

El seguimiento del parámetro humedad, durante el proceso de compostaje es importante, ya que la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, debido a que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células.

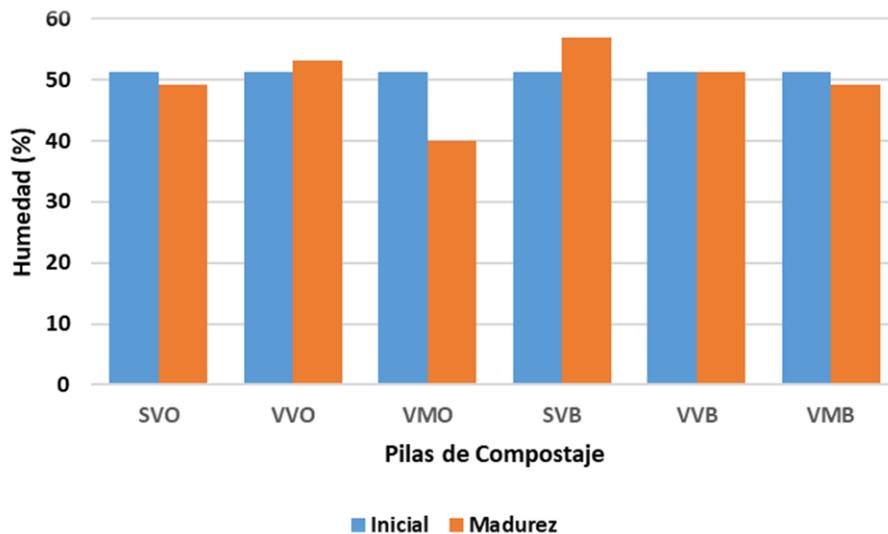
Por esto, un bajo contenido de humedad (<30%) en las fases de mayor actividad microbiana puede provocar la paralización del proceso, lo que sería un indicativo de la necesidad de aplicar riego a la pila.

Por el contrario, un contenido excesivo de humedad (>70%) provoca la saturación de la matriz porosa de la masa reduciendo el intercambio de oxígeno y gases produciendo anaerobiosis, lo cual genera malos olores y una disminución de la velocidad del proceso.

En la figura 16, se muestra el contenido de humedad, que registra valores diferentes en cada una de las pilas de compostaje. Durante la fase inicial, cada pila registró un 51,4% de humedad, que aumentó hasta 56,9% durante la fase de maduración. Sin embargo, las pilas SVO, VMO y VMB, disminuyeron ligeramente

su contenido de humedad a lo largo del proceso. Esto pudo ser debido a la porosidad y cambios en el ambiente que provocan menor retención de humedad.

En cada una de las pilas, se registró un contenido de humedad de entre 45-65%, que como indica Márquez y col (2008), es óptimo para el desarrollo del proceso de compostaje correctamente.



**Figura 16. Humedad de las pilas de compostaje.**

En un estudio elaborado, por Escobar y col (2012), sobre compostaje con diferentes tipos de mezclas y la adición de preparados biodinámicos, encontró que los otros tratamientos registraron valores de humedad dentro de los rangos de 50% a 60 % considerados adecuados al inicio del proceso de compostaje.

De igual manera, Villanueva (2015), llevó a cabo un estudio sobre el efecto de las técnicas de elaboración biodinámica y microorganismos eficaces en la calidad del compost, donde encontró que el contenido de humedad alcanzó valores de 42,40% a 45,90%, dentro del rango óptimo.

### 5.2.2. pH

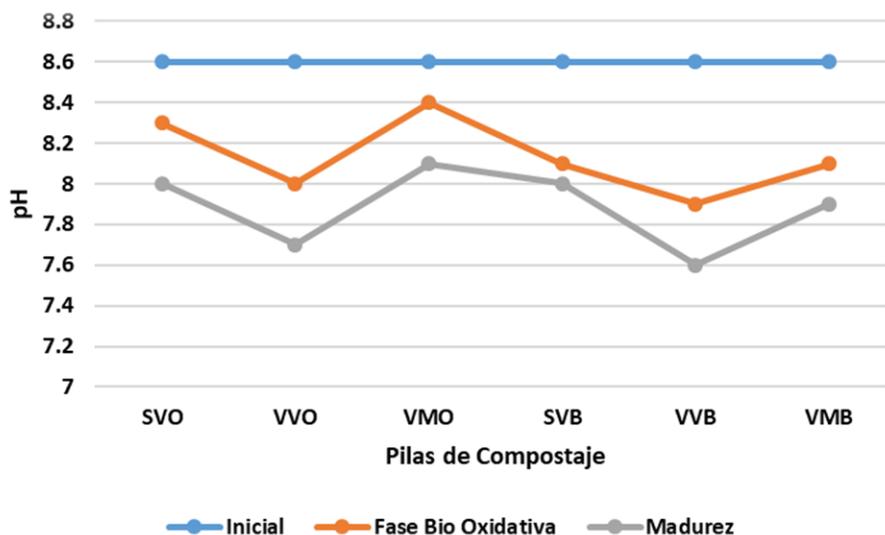
El pH, como señalan Sánchez y col. (2001), tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. Mediante el seguimiento del pH, se puede obtener una medida indirecta del control de aireación de la mezcla, ya que, si en algún momento se crean condiciones anaerobias, se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH.

Durante el proceso de compostaje se diferencian 3 fases en la evolución del pH. Durante la fase mesófila inicial se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, produciendo una liberación de ácidos orgánicos.

En una segunda fase se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas. Por último, en la tercera fase el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón.

En la figura 17, se muestran los valores de pH para las pilas de compostaje. Inicialmente los valores de pH fueron de 8,6. En todas las pilas se produce una disminución del pH entre 8,4 y 7,9, durante la fase bio oxidativa del proceso de compostaje.

El pH obtenido en el compost en la fase de maduración de cada una de las pilas, se sitúa dentro del rango adecuado (6,0-8,5) para uso agrícola, indicado en Hogg y col (2002).



**Figura 17. pH de las pilas de compostaje.**

Un estudio realizado por Rodas y col., sobre preparados biodinámicos en compostaje de pilas estáticas a partir de desechos de cultivos de nopal y moringa, obtuvo valores de pH, que oscilaron entre 8,2 y 9,3, similares a los valores obtenidos en este estudio. Así mismo, Iglesias Jiménez y Pérez García (1992), indican que generalmente el pH, disminuye en las primeras horas o días del proceso, debido a la liberación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, procedentes de la descomposición de fracciones más lábiles de la materia orgánica.

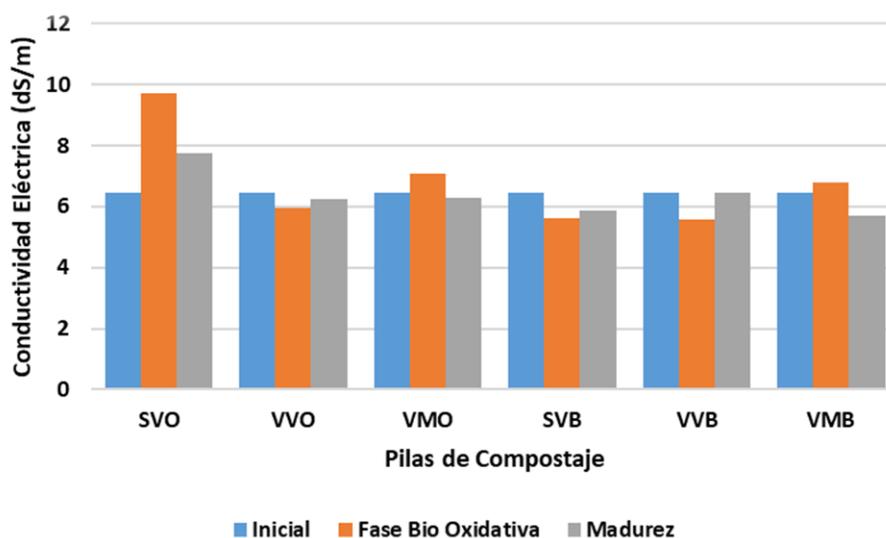
### 5.2.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE), está condicionada por la concentración de sales, y por la presencia de iones de amonio o nitrato. La conductividad eléctrica es uno de los parámetros del producto final que en mayor medida puede condicionar el tipo de aplicación final del compost debido a que un exceso de sales afecta a las propiedades agronómicas del suelo, dificultando la absorción de las plantas.

La conductividad eléctrica, como indica Paredes y col. (2002), generalmente se incrementa a lo largo del proceso como consecuencia de la mineralización de la

materia orgánica y de la concentración relativa de iones debida a la pérdida de peso, pero esto ocurre siempre que el compostaje se efectúe controlando la pérdida de sales solubles por lixiviación, debida a riegos o lluvia si el proceso se realiza al aire libre. Algunas veces puede producirse un descenso de la CE durante el proceso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por una humectación excesiva de la misma o por la lluvia, si el proceso se realiza al aire libre.

En la Figura 18, se observan los niveles de conductividad eléctrica durante cada una de las fases en las pilas de compostaje. Durante la fase inicial, se registró un valor de 6,47 dS/m en cada una de las pilas. En la fase bio oxidativa, aumentó considerablemente a 9,73 dS/m en la pila SVO. Sin embargo, en las pilas VVO y VVB disminuyó hasta 5,57 dS/m.



**Figura 18. Conductividad eléctrica de las pilas de compostaje.**

Las pilas de compostaje, presentaron valores de CE 6,45 dS/m y 5,86 dS/m, en su etapa de maduración. Según, Lasaridi y col (2006), el valor de conductividad eléctrica que un compost debe tener para no provocar efectos adversos, no debe superar los 3 dS/m. En todas las pilas de compost, se supera dicho valor desde el

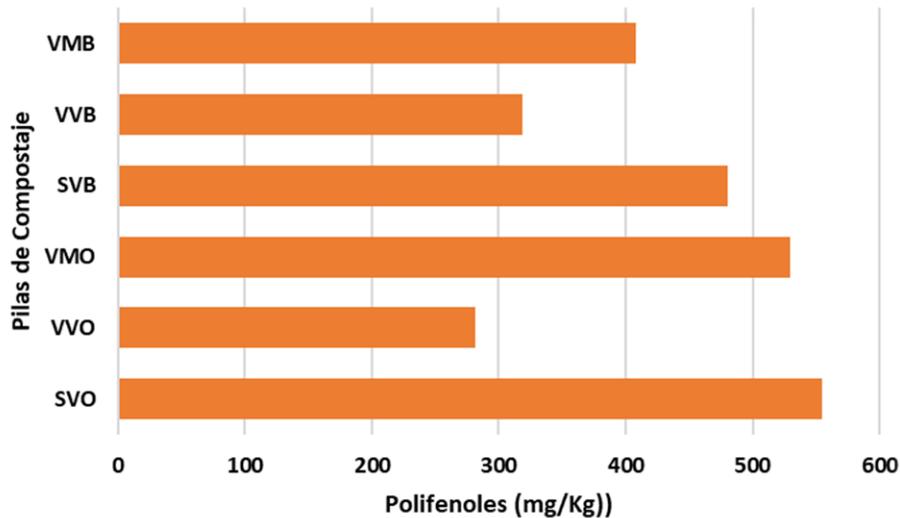
inicio, lo cual indica una limitación para su uso orgánico, por la posibilidad de inducir salinidad en el suelo y toxicidad en los cultivos, y especialmente como sustrato o componente de sustrato de cultivo. Estos valores elevados eran esperables por la CE que presenta el estiércol empleado.

Una investigación, llevada a cabo por Rodas (2019), sobre preparados biodinámicos en compostaje, demostró que la evolución de los valores de conductividad eléctrica, alcanzaron valores entre 1,3 dS/m hasta 4,0 dS/m durante el proceso de compostaje. Además, demuestran que la elevada conductividad eléctrica, podría reducirse a través de mezclas con otros materiales y lavando el compost con agua de riego en las primeras etapas del proceso.

#### **5.2.4. Polifenoles solubles**

Los polifenoles, como indica Bustamante y col. (2007), se encuentran prácticamente en todos los materiales vegetales, se componen básicamente de ácido fenólicos que incluyen benzoato y derivados hidroxicinamato y flavonoides. Los compuestos fenólicos, como sugiere Manios y col. (1989), merecen especial atención debido a su repercusión sobre la inhibición de la germinación de semillas, sobre la inmovilización del nitrógeno del suelo y por su efecto antimicrobiano que puede inhibir y limitar el proceso de compostaje.

En cuanto a la evolución de polifenoles, la Figura 19, se muestra que las pilas SVO, VMO y SVB, presentan mayor cantidad de polifenoles que las demás. En cada una de las pilas de compost, los valores finales están dentro del rango de 282 mg/kg hasta 555 mg/kg de contenido de polifenoles solubles.



**Figura 19. Polifenoles de las pilas de compostaje.**

Según, Scalbert (1991), la evolución de los polifenoles solubles durante el proceso de compostaje es un parámetro a tener en cuenta en su uso agrícola, ya que están relacionados directamente con las propiedades fitotóxicas de los materiales a compostar.

### **5.3. Evolución de la materia orgánica y su fracción sólida**

#### **5.3.1. Materia orgánica total**

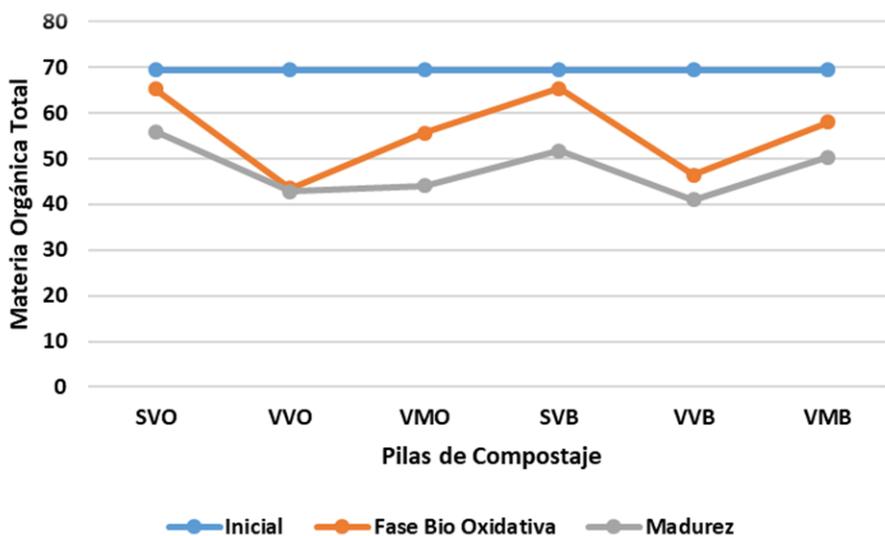
La evolución de la materia orgánica, como explica Michel y col. (2004), es compleja y su velocidad de transformación depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones fisicoquímicas del proceso.

Según, Zucconi y De Bertoldi (1987), durante el proceso de compostaje la materia orgánica desciende debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma anhídrido carbónico. Estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20% en peso de la masa compostada, produciéndose un

aumento de la ceniza o materia mineral/inorgánica como fruto de dicha mineralización de la materia fresca.

En la figura 20, se muestra el % de materia orgánica total, de cada una de las pilas de compostaje. En la fase inicial todas las pilas registraron 69,5% de materia orgánica total. Durante la fase bio oxidativa, se observa una importante disminución del contenido de materia orgánica en las muestras, respectivamente a valores entre 65,4% y 43,5%.

En cada una de las pilas, se ha producido un descenso significativo debido a su parcial transformación a materiales biodegradables y su degradación final, quedando únicamente los compuestos más recalcitrantes y la materia orgánica estabilizada. Los valores de materia orgánica registrados en las pilas de compost finales, están dentro del rango establecido en la legislación (RD 506/2013), que indica un valor de MO  $\geq$  35%, para enmiendas orgánicas que quieran comercializarse como compost.



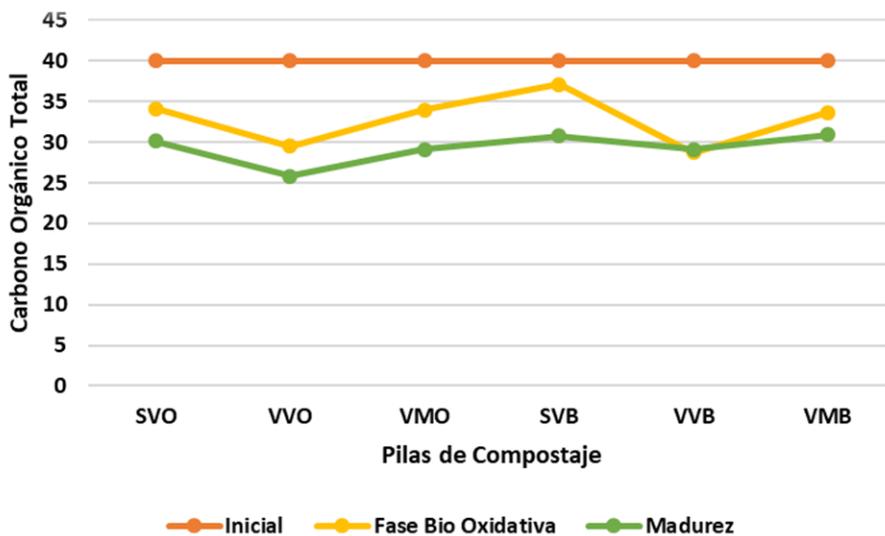
**Figura 20.** Materia orgánica total de las pilas de compostaje.

Así mismo, un estudio realizado por Rufete Saez (2015), sobre la caracterización de residuos ganaderos y sus implicaciones agronómicas y medioambientales, encontraron que el contenido medio de materia orgánica total en los estiércoles de ganado bovino, osciló entre 39,6% y 69,7%, similares a los resultados obtenidos en la presente investigación.

### **5.3.2. Carbono orgánico total**

La degradación de la materia orgánica induce en los procesos de compostaje, una pérdida de carbono, ya que el proceso final de la descomposición de la materia orgánica es la transformación de materia orgánica en inorgánica, siendo importante la pérdida de carbono en forma de CO<sub>2</sub> atmosférico. Por tanto, el compostaje es una forma de pérdida de carbono en forma orgánica a carbono atmosférico liberado como CO<sub>2</sub>. Con el transcurso del tiempo, el porcentaje de carbono orgánico de la pila sufre un proceso de descenso.

La Figura 21, muestra que los valores de carbono orgánico total (COT) de las pilas, va disminuyendo a lo largo del proceso de compostaje. Durante la fase bio oxidativa, se aprecia el mayor descenso de COT, debido al incremento de la actividad microbiana en esta etapa.



**Figura 21. Carbono orgánico total en las pilas de compostaje.**

Los valores de COT registrados en las pilas de compost finales, se encuentran entre 25,8% y 30,9 %. Además, se observa que las pilas con preparados biodinámicos presentan mayor porcentaje de contenido total de carbono orgánico, similar a los valores obtenidos por Rodas y col. (2019) en un estudio sobre preparados biodinámicos en pilas estáticas de compostaje de restos de cultivos.

### 5.3.3. Nitrógeno total

El nitrógeno es uno de los macronutrientes fundamentales para la nutrición de las plantas y de este modo, si el compost que se ha obtenido se pretende usar con fines agrícolas, es importante minimizar al máximo las pérdidas de este elemento. El nitrógeno es un nutriente esencial para la vida vegetal cuya toma, por parte de las plantas, se produce en su forma inorgánica.

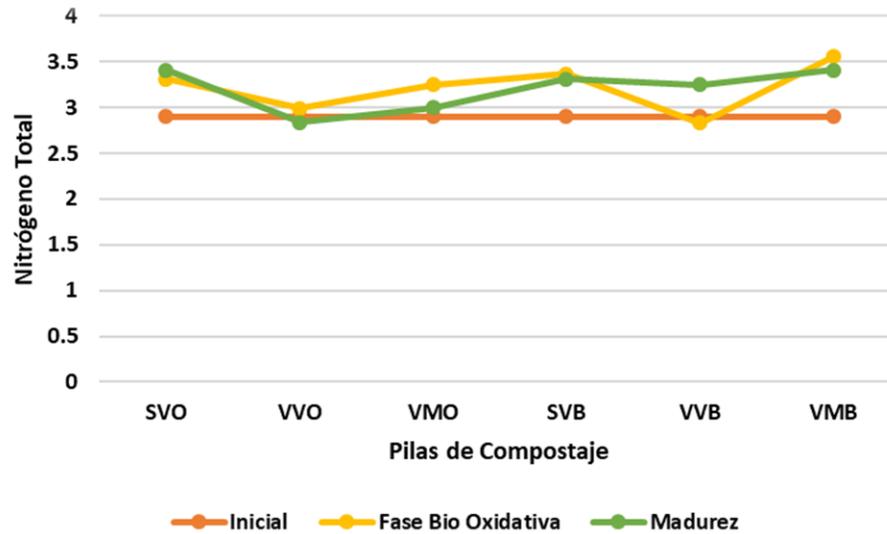
Los contenidos de nitrógeno en un residuo fresco o compostado de naturaleza orgánica condiciona su capacidad fertilizante. El nitrógeno se encuentra tanto en forma orgánica como en forma inorgánica, aunque mayoritariamente es la forma orgánica la que está presente en los residuos orgánicos.

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

Según, Paredes y col. (2002) el contenido en nitrógeno aumenta durante el proceso de compostaje probablemente debido a un efecto concentración, como consecuencia de la pérdida de peso de la pila por degradación de materia orgánica, además de la posible fijación biológica de nitrógeno.

En la Figura 22, se observa que, en cada una de las pilas, el nitrógeno total (NT) aumenta a lo largo del proceso de compostaje. Los valores de nitrógeno total, durante la fase bio oxidativa, han variado entre 2,83 % y 3,56 %. Los valores de NT, obtenidos en el compost final de cada una de las pilas, se encuentra en torno a 3,5%, dentro del rango de adecuado (0,4 a 3,5 %), propuesto por Dalzell y col. (1991).

Las Pilas SVB, VVB y VMB, presentan contenidos de nitrógeno más alto durante la fase de maduración, entre 3.31% hasta 3.41%. Según, Piamonte (2002), la incorporación de los preparados biodinámicos muestra claramente que los valores de Nitrógeno total establecen una relación más equilibrada aumentando considerablemente.



**Figura 22. Nitrógeno total de las pilas de compostaje.**

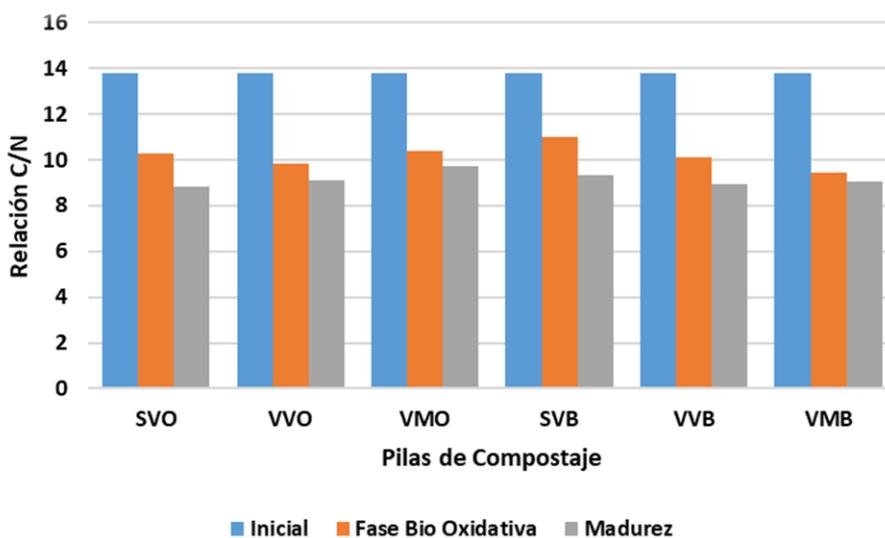
Una investigación elaborada por Escobar y col. (2012), sobre compostaje con diferentes tipos de mezclas y la adición de preparados biodinámicos, registró valores de Nitrógeno total en todos los tratamientos, entre 1,60 % y 2,20%. Además, se observó que los tratamientos a los que se añadieron preparados biodinámicos, mostraron un incremento en el valor de Nitrógeno desde el inicio del proceso de compostaje.

#### **5.3.4. Relación carbono/nitrógeno**

La relación carbono/nitrógeno(C/N), como indica Jhorar y col. (1991), es uno de los índices más utilizados para estudiar la evolución de la materia orgánica durante el compostaje, ya que, por un lado, representa la pérdida de carbono orgánico, como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica, mientras que, por otro, mide el aumento de la concentración de nitrógeno debido a la pérdida de peso. Como resultado se obtiene una disminución de este parámetro, cuyos valores al final del proceso son prácticamente constantes, como consecuencia de la estabilización de la materia orgánica.

Según Harada e Inoko (1980), la importancia de esta relación está en que, para que el proceso de compostaje se desarrolle de forma adecuada, se considera que el material de partida debe de tener una relación C/N entre 25-35. Los valores elevados de esta relación originarían un alargamiento del proceso, debido a que es necesario el desarrollo de varios ciclos de microorganismos para degradar el exceso de carbono, empleándose el único nitrógeno disponible, que será el de los microorganismos que han muerto, mientras que valores muy bajos pueden conducir a pérdidas importantes de nitrógeno por volatilización como amoníaco.

En la Figura 23, se muestra la evolución de la relación C/N de las pilas de compostaje. En la fase inicial, se obtuvieron valores de 13,8. Durante la fase bio oxidativa, se observó una disminución de este parámetro en cada una de las pilas. Esta disminución está relacionada con la degradación de los compuestos orgánicos carbonados y el aumento del nitrógeno total, por el efecto concentración. Después de esta evolución inicial, la relación C/N siguió disminuyendo de forma gradual hasta el final del proceso de compostaje.



**Figura 23.** Relación C/N de las pilas de compostaje.

De este modo, los valores este parámetro en cada una de las pilas durante la etapa final de maduración, se encuentran entre 8,8 y 9,72, ligeramente por debajo del rango adecuado propuesto por Iglesias y Pérez (1992), que establecen como criterio una relación C/N final de 10 a 20.

Una investigación, elaborada por Escobar y col. (2012), obtuvieron valores similares de C/N, en la fase de maduración inferiores a 10, en tratamiento de compostaje con adición de preparados biodinámicos. Así mismo, un estudio realizado por Villanueva (2015), sobre el efecto de las técnicas de elaboración biodinámica y microorganismos eficaces en la calidad del compost, obtuvo un valor de C/N al inicio del proceso de compostaje de 21,3 y 21,6 durante la etapa final de madurez.

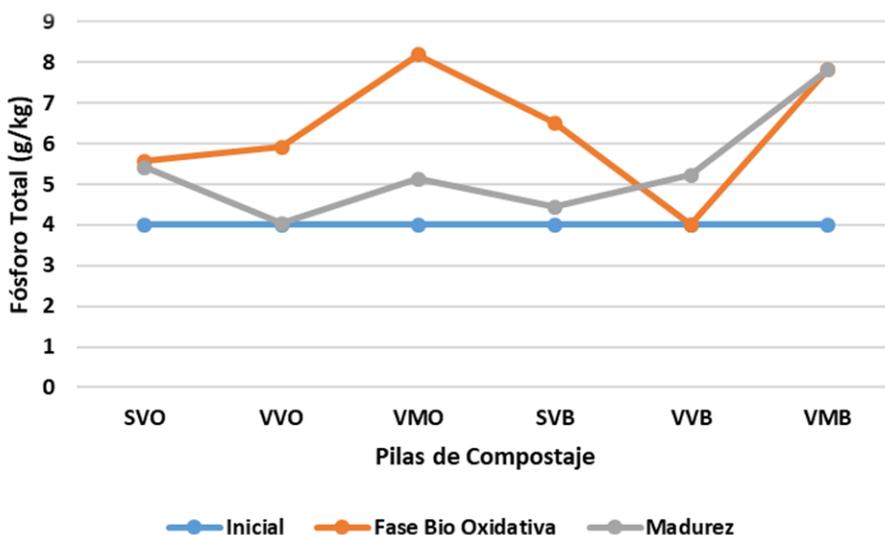
Sin embargo, la relación C/N no puede ser empleada como un índice de madurez único, debido a que este parámetro puede variar mucho en función de los materiales de partida. Así mismo, cada de una de las pilas de compostaje, ya inicialmente presentaban un valor relativamente bajo de este parámetro. Por lo tanto, la relación C/N, resulta más útil para seguir la evolución de la pila durante el compostaje, que para indicar el grado de madurez alcanzado por los compost.

## **5.4. Evolución de otros nutrientes y elementos totales**

### **5.4.1. Fósforo total**

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

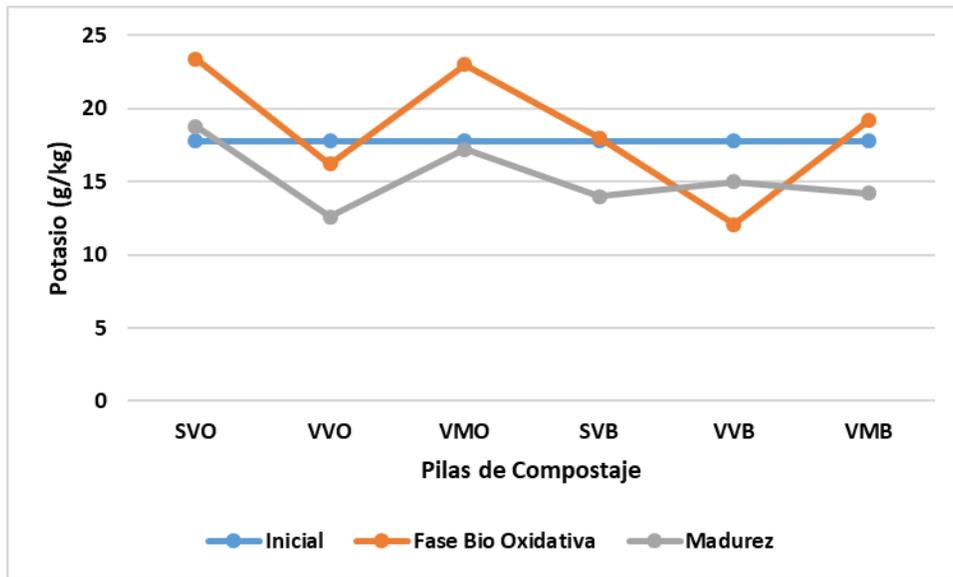
La Figura 24, muestra que, en cada una de las pilas, se observó un aumento durante la fase bio oxidativa y de madurez, alcanzando valores entre 4,04 g/kg y 7,81 g/kg, dentro del rango de referencia, según Jiménez (1998)), para un compost maduro. La investigación realizada por Villanueva (2015), sobre el efecto de las técnicas de elaboración biodinámica, obtuvo valores similares de contenido total de fósforo de 6,1 g/kg en su etapa inicial y 5,1 g/kg al final.



**Figura 24. Fósforo total en las pilas de compostaje.**

### 5.4.2. Potasio total

En la Figura 25, se observa que los valores de potasio (K), durante la fase inicial de compostaje, fueron de 17,8 g/kg. Durante la fase bio oxidativa, las pilas VVO y VVB disminuyeron su valor hasta 12,1 g/kg. Sin embargo, el resto de pilas aumentaron hasta alcanzar 23,4 g/kg. De esta misma manera, en la etapa de maduración de las pilas de compost, se observan valores variados, siendo las pilas SVO y VMO, la que mayor contenido presentaron.



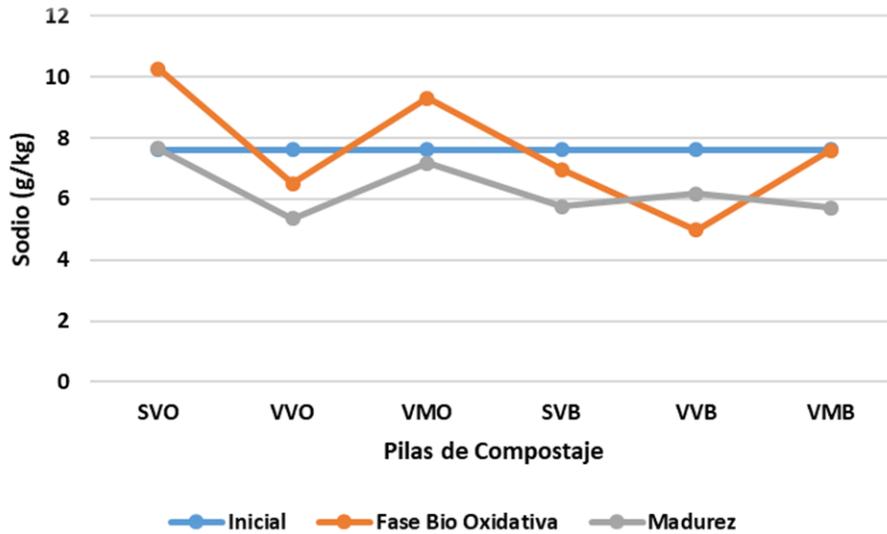
**Figura 25. Potasio en las pilas de compostaje.**

Estos resultados son similares a los obtenidos por Montes García (2015), en un estudio sobre compostaje de flujos residuales orgánicos generados en entornos urbanos, donde se observan valores de contenido de potasio, hasta 14 g/kg.

### 5.4.3. Sodio total

La presencia de sodio (Na), en los materiales orgánicos no es deseable debido a su no esencialidad para las plantas, así como por el impacto negativo de este catión en las propiedades físicas del suelo potencialmente enmendado.

En la Figura 26, se observa que, en la fase inicial, el contenido de sodio fue de 7,62 g/kg en las pilas de compostaje. Durante la fase bio oxidativa, el contenido de sodio varió en cada una de las pilas, siendo las pilas SVO, VMO y VMB, las que mayor contenido de este elemento presentaron, alcanzando valores entre 7,60 g/kg y 10,27 g/kg.



**Figura 26. Sodio total en las pilas de compostaje.**

Las pilas VVO, SVB y VVB, disminuyeron su valor hasta 4,98 g/kg. En la etapa final de maduración, todas las pilas alcanzaron un valor significativamente menor a la inicial.

## 5.4. Parámetros indicativos de calidad del compost

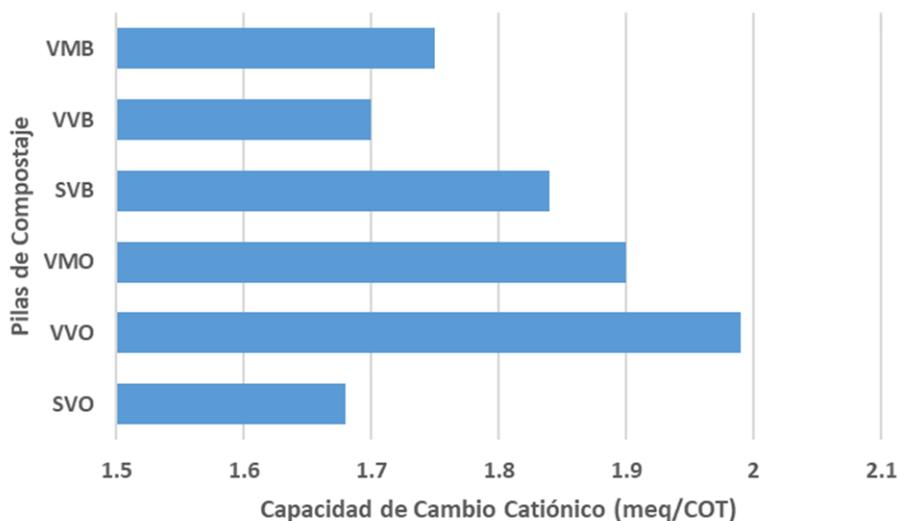
### 5.4.1. Capacidad de cambio catiónico

El valor de la capacidad de cambio catiónico (CCC), como explica Lax y col. (1986), refleja los cationes que están disponibles para la planta y que no son lixiviados por efecto del riego. Este parámetro es indicativo del proceso de compostaje, así como de la calidad del material final obtenido, y normalmente aumenta conforme lo hace el proceso de compostaje, progresivamente a medida que la humificación de la materia orgánica progresa, ya que el incremento de polimerización provoca un aumento considerable de la superficie específica de las

macromoléculas “húmicas” y un aumento progresivo de grupos carboxílicos fundamentalmente e hidroxi-fenólicos en menor medida.

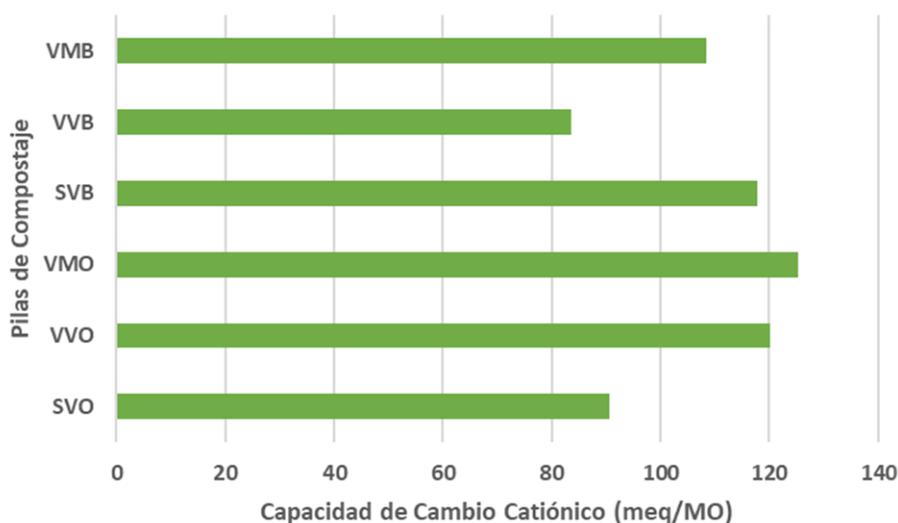
La capacidad de cambio catiónico, según Roig y col. (1988), es un parámetro indicativo del proceso de compostaje y del grado de humificación de los materiales orgánicos durante el compostaje, así como de la calidad del material final obtenido. El grado de humificación de la materia orgánica en el suelo,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

En la Figura 27, se observan los valores de capacidad de cambio catiónico (CCC) de las pilas de compostaje, las cuales en su mayoría no alcanzaron el nivel de madurez dentro del rango adecuado propuesto por Iglesias y Pérez (1992), con valores superiores a 1,9 meq/COT. Únicamente, las pilas VMO y VVO, alcanzaron el rango adecuado que garantiza la madurez del compost y, por lo tanto, su adecuado uso dentro de los suelos agrícolas.



**Figura 27. Capacidad de cambio catiónico en las pilas de compostaje (meq/COT)**

En la Figura 28, se muestra el análisis de capacidad de cambio catiónico para las pilas, utilizando esta vez como referencia los valores de CCC en compost (CCC > 60 meq/MO) establecidos por Harada e Inoko (1980). Los valores de capacidad de cambio catiónico, fueron mayores en las pilas SVB, VMO y VVO en comparación con las otras pilas, alcanzando entre 90,5 meq/MO y 125,2 meq/ MO.



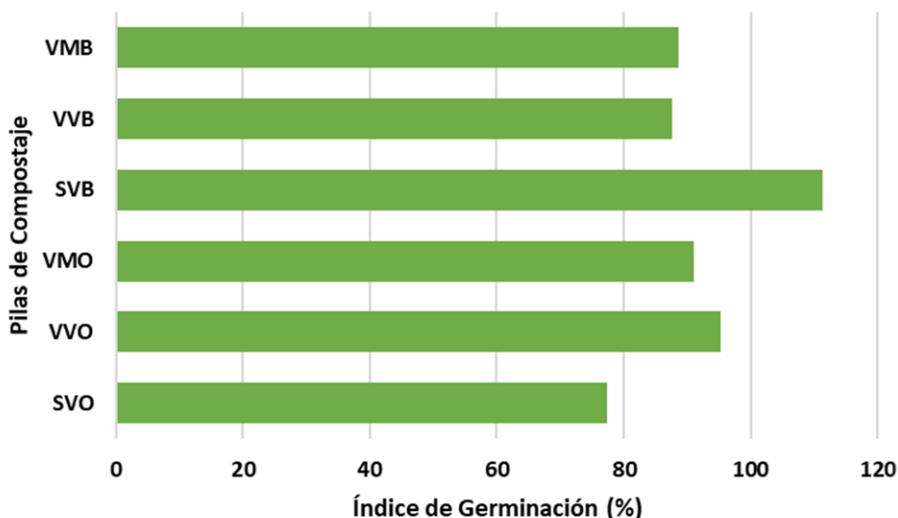
**Figura 28. Capacidad de cambio catiónico en las pilas de compostaje (meq/MO)**

Estos valores mínimos establecidos fueron alcanzados por cada una de las pilas al final del proceso de compostaje. De este modo, el uso de este índice para valorar la madurez de un compost, debería considerarse como una condición necesaria pero no suficiente para establecer el grado de madurez alcanzado por estos compost.

#### **5.4.2. Índice de germinación**

El índice de germinación (IG), de semillas es un método biológico que proporciona información precisa y real sobre el grado de madurez alcanzado por un compost. En este estudio, se ha utilizado el método de Zucconi y col. (1981) que consiste en la incubación de semillas de Berros (*Nasturtium officinale*), durante 24

horas a 27° C, sobre extracto acuoso del compost. Según este método el compost está maduro cuando  $IG > 50$ .



**Figura 29.** Índice de germinación de las pilas de compostaje.

Todas las pilas de compost obtenidas presentaron valores de IG superiores al 50%, valor mínimo establecido en la bibliografía que indica que un compost está maduro y que no va a producir efectos tóxicos sobre el crecimiento de las plantas una vez que se les aplique como fertilizante. En el caso del compost SVB, el índice de germinación superó el 100% indicando una capacidad fitoestimulante de este compost.

## **5.5. Parámetros indicativos de humificación**

Los principales índices para evaluar el grado de humificación de la materia orgánica de los compost, a partir de los porcentajes de carbono extraíble (Cex), carbono de ácidos húmicos (Cah) y de ácidos fúlvicos (Caf).

### **5.5.1. Carbono extraíble**

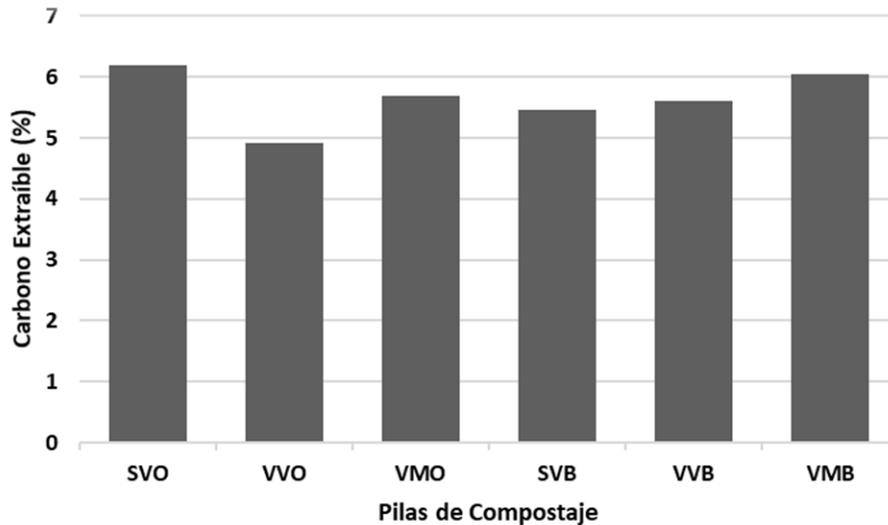
El proceso de compostaje, según explica Chen y Imbar (1993), es un método útil para producir un material orgánico estabilizado que puede usarse como fuente de nutrientes y acondicionador del suelo.

Esta metodología se divide típicamente en dos fases: activa o bio-oxidativa y la fase de madurez. La primera se caracteriza por una actividad microbiana intensa que conduce a la descomposición de la mayoría del material biodegradable y la estabilidad de los residuos orgánicos. La segunda, se caracteriza por la conversión de parte del material orgánico restante en sustancias húmicas.

En el caso del compost, Castaldi y col. (2005), definen el carbono total extraíble, al conjunto de compuestos de naturaleza “húmica” extraídos con una solución básica y “carbono precipitable y no precipitable” en medio ácido para hacer referencia a las fracciones “húmicas” y “fúlvicas” respectivamente.

Según Campitelli y col. (2006), durante el proceso de compostaje, parte de la materia orgánica original se mineraliza y la fracción residual se transforma en nuevos materiales orgánicos, que están sujetos a procesos de humificación, produciéndose así las denominadas sustancias húmicas.

Las pilas SVO y VMB, aportan los niveles más altos de carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas (6,04% y 6,19%). Mientras que las demás pilas aportan ligeramente menos entre 5,47% hasta 5,70%. Sin embargo, la pila VVO, es la que menos carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas tiene (4,92%). La aplicación de basalto molido biodinámico, a las pilas de estiércol vacuno aumentó los valores de carbono total extraíble, asociado a las sustancias húmicas, excepto en la pila sin volteo.



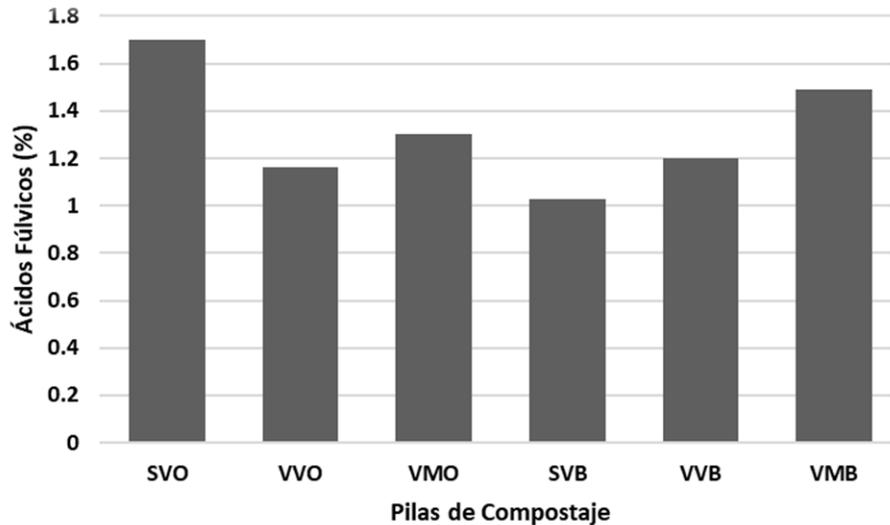
**Figura 30. Carbono extraíble de las pilas de compostaje.**

### **5.5.2. Carbono de los ácidos fúlvicos**

El compostaje, como indica Adani y col. (1997), se caracteriza por la descomposición del material biodegradable de los residuos y la transformación parcial del material orgánico remanente en sustancias húmicas.

Según, Bernal y Col (2009), en el proceso, a medida que avanza la condensación y polimerización de las moléculas sencillas resultantes de la degradación de la materia orgánica (humificación), se produce un aumento de los ácidos húmicos, mientras que el contenido de ácidos fúlvicos tiende a decrecer.

La pila SVO, es la que más aporte de ácido fúlvico (1,70%) registró en el proceso de compostaje. Sin embargo, el resto de pilas presentaron valores similares en el rango de 1,03% hasta 1,49%. Estos valores son comparables a los obtenidos en otros estudios, como Azcona y col. (2011), donde se observó una mejor respuesta del cultivo, utilizando sustancias de tipo húmico obtenidas de compost.



**Figura 31. Carbono de los ácidos fúlvicos (%)**

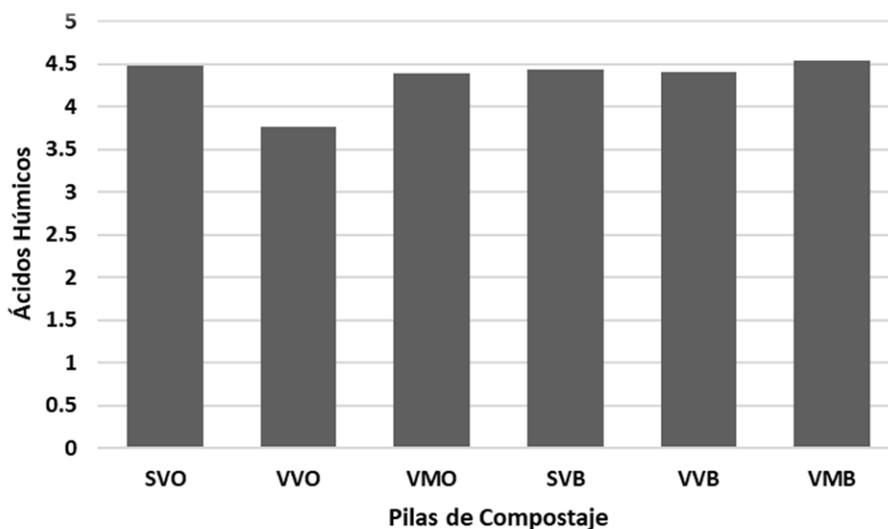
### 5.5.3. Carbono de los ácidos húmicos

La humificación del material orgánico durante el compostaje, como indica Senesi (1989), se revela mediante la formación de ácidos húmicos con un peso molecular creciente, características aromáticas, concentraciones de oxígeno y nitrógeno y grupos funcionales, de acuerdo con las teorías de humificación generalmente aceptadas del suelo materia orgánica.

Según Ciavatta y col. (1990), los contenidos de carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos o incluso la suma de ambas, se han considerado parámetros válidos a la hora de determinar el grado de humificación de un material. Sin embargo, la heterogeneidad de las materias primas de naturaleza orgánica, así como la complejidad de las sustancias denominadas de tipo húmico, han hecho imprescindible utilizar otros indicadores de humificación más reales.

De hecho, se sabe que el contenido en sustancias humificadas podría ser sobreestimado, sobre todo, en las fases iniciales del proceso de compostaje, ya que parte de los materiales no humificados interferirán con el fraccionamiento de

sustancias húmicas. En la Figura 30, se muestra la cantidad de carbono asociado a los ácidos húmicos que aportan cada una de las pilas de compostaje. En cada una de las pilas, aportaron valores entre 4,40% y 4,55% de ácidos húmicos. Sin embargo, la Pila VVO, presentó relativamente menos (3,77%).



**Figura 32. Ácidos húmicos en las pilas de compostaje**

En comparación con los ácidos fúlvicos, se observa más aporte de carbono de ácidos húmicos, en cada una de las pilas de compostajes. De igual manera un estudio realizado por Moreno y col. (2014), encontraron un comportamiento similar respecto a lo que ocurre en el presente estudio, entre el contenido en carbono asociado a los ácidos húmicos y fúlvicos en pilas de compost con restos vegetales, siendo mayor la presencia en los compost maduros de carbono húmicos, frente a los ácidos fúlvicos. Esto es lógico como resultado de la evolución propia de las formas de carbono resultado de la transformación de la materia orgánica tras el compostaje.

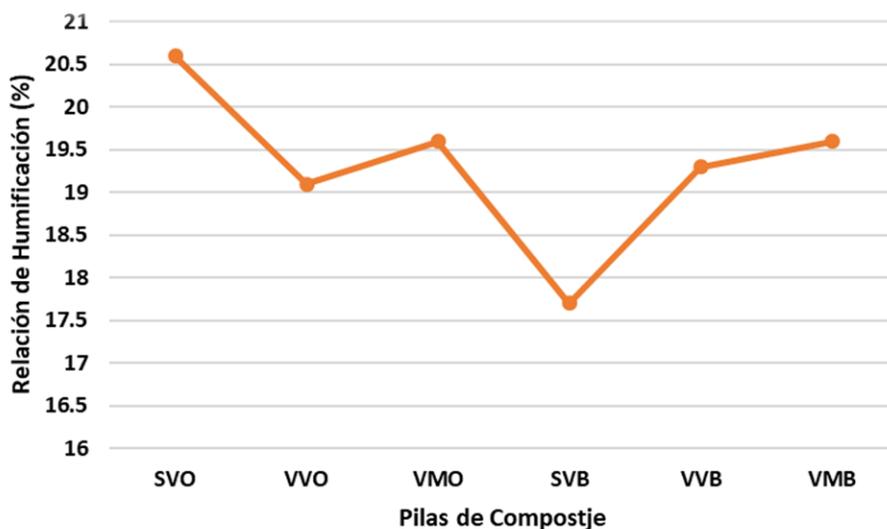
## 5.6. Índices de humificación de la materia orgánica

Existen una serie de índices que nos ayudan a estudiar cuál es la evolución de las formas de carbono ligadas a la materia orgánica. Estos son algunos de ellos.

### 5.6.1. Relación de humificación

Uno de los principales índices para evaluar el grado de humificación de la materia orgánica en los compost, a partir de los porcentajes de carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas, carbono de los ácidos húmicos y el carbono de los ácidos fúlvicos, es la relación de humificación (carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas/carbono orgánico total). Según, Iglesias y Pérez (1992), el ratio de humificación, así como el índice de humificación, son parámetros válidos y sencillos para establecer el estado de humificación de los compost. Así, en el caso del compostaje, la relación de humificación permanece prácticamente constante durante todo el proceso.

En la Figura 33, podemos ver la influencia ligeramente significativa del basalto molido biodinámico, en las pilas VVB y VMB en la relación de humificación (carbono total extraíble/carbono orgánico total). Por otro lado, se observa que el sistema de volteos en cada una de las pilas, influyen también en este parámetro de calidad de madurez.



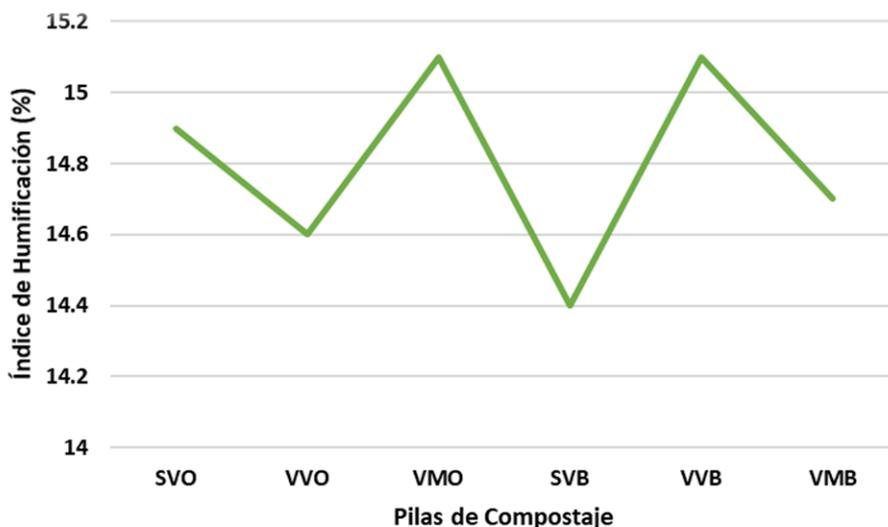
### **Figura 33. Relación de humificación de las pilas de compostaje.**

El valor mínimo de este índice para evaluar la madurez del compost encontrado por Roletto (1985), es de  $> 7\%$ . Por lo tanto, todas las pilas se encuentran dentro del rango adecuado para su uso agrícola.

#### **5.6.2. Índice de humificación**

Otro de los principales índices para evaluar el grado de humificación de la materia orgánica en los compost, es el índice de humificación (carbono de los ácidos húmicos/carbono orgánico total).

En la figura 34, se observa que el sistema de volteo en las pilas de compostaje VMO y VVB, influye en un índice de humificación mayor (15,1), frente a las demás pilas de compostaje que no tuvieron volteos SVO y SVB, que presentan un índice de humificación más bajo (14,4%). Por otro lado, la incorporación de basalto molido biodinámico, únicamente influyó en las pilas con un sistema de volteo activo.



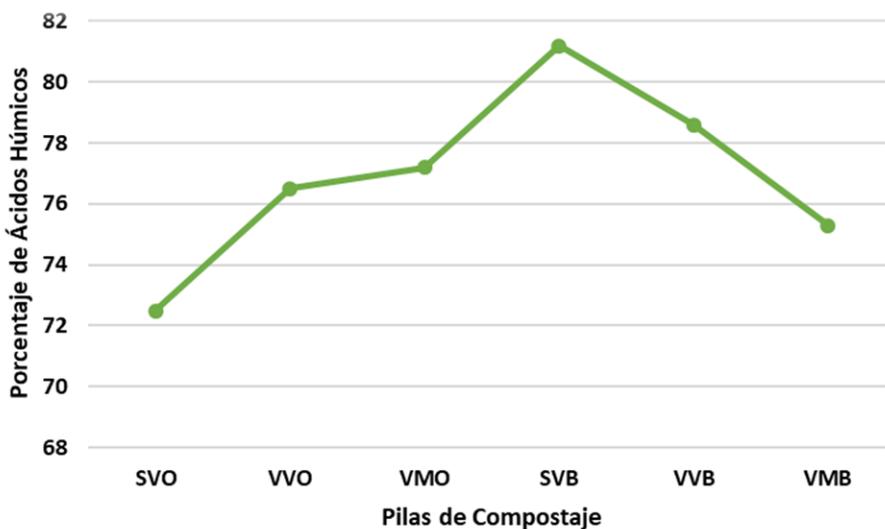
**Figura 34. Índice de humificación en las pilas de compostaje.**

El valor mínimo de este índice para evaluar la madurez del compost encontrado por Roletto (1985), es de > 3,5%. Por lo tanto, cada una de las pilas, están dentro del grado adecuado de humificación para su uso en suelos agrícolas.

### 5.6.3. Porcentaje de ácidos húmicos

Un método también utilizado, para evaluar el grado de humificación de la materia orgánica en los compost, a partir de los porcentajes de carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas, carbono de los ácidos húmicos y el carbono de los ácidos fúlvicos, es porcentaje de ácidos húmicos (carbono de los ácidos húmicos/carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas).

El porcentaje de ácidos húmicos, es mayor en la pila de compostaje SVB (81,2%), frente al resto de pilas que presenta un porcentaje de ácidos húmicos más bajo, entre 75.3% hasta 78.6%. Por otro lado, la pila SVO obtuvo un menor porcentaje húmicos 72,5%.



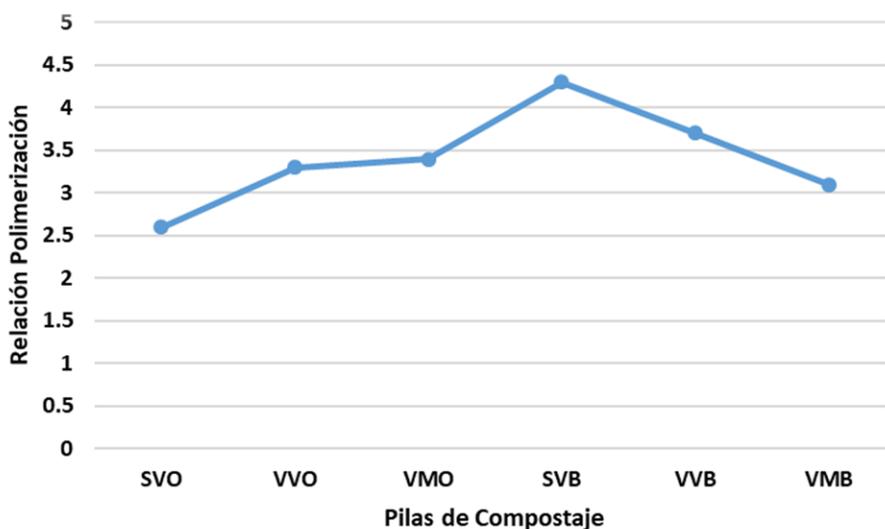
**Figura 35. Porcentaje de ácidos húmicos de las pilas de compostaje.**

Esto indica que la incorporación del compuesto biodinámico, influyó más que el sistema de volteos para este parámetro. En cuanto, al valor mínimo de este

parámetro para evaluar la madurez y humificación del compost, propuesto por Iglesias y Pérez (1992), es de  $> 62$ . Por lo tanto, cada una de las pilas se encuentran en el rango adecuado de porcentaje de ácidos húmicos, para su uso en suelos agrícolas.

#### 5.6.4. Relación de polimerización

Por último, tenemos la relación de polimerización (carbono de los ácidos húmicos/carbono de los ácidos fúlvicos), como unos de los índices para evaluar el grado de humificación de la materia orgánica en los compost, a partir de los porcentajes de carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas, carbono de los ácidos húmicos y el carbono de los ácidos fúlvicos.



**Figura 36. Relación de polimerización en las pilas de compostaje.**

En la relación de polimerización, observamos que la incorporación de basalto molido biodinámica en las pilas de compost SVB y VVB, influye en una relación de polimerización mayor entre 3,7 % y 4,3%, frente a las demás pilas de compostaje de estiércol vacuno, que representa una relación de polimerización menor entre 2,6% hasta 3,4%. Por otro lado, cada una de las pilas de compostaje se encuentran sobre el valor mínimo  $> 1\%$ , propuesto por Roletto (1985), para evaluar la madurez del compost.

## V. CONCLUSIONES

Del siguiente trabajo fin de máster se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Respecto al perfil térmico del proceso para las seis pilas ensayadas, puede observarse que las pilas VVO y VVB, registraron una diferencia de tiempo para la obtención de los criterios térmicos de higienización, superior al obtenido en las demás pilas, lo cual demuestra que el sistema de volteo con volteadora brinda una mayor garantía de higienización frente a los demás sistemas mientras que las pilas SVO y SVB, ambas sin volteo, que no registraron estos rangos de temperatura necesarios en el período de tiempo establecido, lo que puede generar problemas para la maduración del compost.

En relación a la densidad aparente, todas las pilas mostraron en la fase de maduración, un aumento en la densidad aparente lo que es consecuencia de una pérdida de volumen típica del proceso de compostaje. El contenido de humedad se mantuvo para todas las pilas en el rango óptimo para el buen desarrollo del compostaje.

En todas las pilas se produjo una disminución del pH durante la fase bio oxidativa y de maduración del proceso de compostaje, encontrándose en un rango adecuado para uso agrícola. Los valores de CE finales de todas las pilas son elevados, esperables ya que el estiércol inicial que se empleó como materia prima tiene una CE de 6,5 por lo que este es un aspecto a tener en cuenta para el cálculo de la dosis a emplear, tipo de suelo y especie vegetal cuando se aplique. Los valores de polifenoles en las pilas finales presentan valores normales no llegando a 600 mg/kg en ninguna pila.

En cada una de las pilas, se ha producido un descenso importante de la materia orgánica durante el compostaje y en los compost finales, los valores están dentro

del rango establecido en la legislación (RD 506/2013), que indica un valor de MO  $\geq$  35%, para enmiendas orgánicas que quieran comercializar como compost. Se observa que las pilas con preparados biodinámicos presentan mayor porcentaje de contenido total de carbono orgánico.

Respecto al contenido nutriente de las pilas ensayadas, el nitrógeno total aumenta en general en todas las pilas y especialmente parece incrementarse en las que llevan preparados biodinámicos (3,31 - 3,41 %). Respecto a la C/N en la fase inicial, se obtuvieron valores de 13,8. Durante la fase biooxidativa, se observó una disminución de este parámetro en cada una de las pilas (8,8 a 9,72), relacionado con la degradación de los compuestos orgánicos carbonados y el aumento del nitrógeno total, por el efecto concentración, ligeramente por debajo del rango adecuado propuesto por Iglesias y Pérez (1992), que establecen como criterio una relación C/N final de 10 a 20. El fósforo total también aumentó durante el compostaje destacando el compost VMB con valores cercanos a 8 g/kg. Sin embargo, el potasio durante el compostaje presenta una dinámica menos clara que el N y el P, siendo la pila SVO la que finalmente presenta mayores valores. Respecto al sodio en la etapa de maduración, todas las pilas alcanzaron un valor menor al inicial.

Referente a los parámetros indicativos de la calidad de compost: la CCC solo verifica los valores finales adecuados como indicativos de madurez para las pilas VMO y VVO, osea las que han sido volteadas. El IG  $>50\%$ , lo presentan todas las pilas ensayadas e incluso el compost SVB presentó un IG  $> 100\%$  indicando una capacidad fitoestimulante de este compost.

El carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas como indicativo de humificación, es más alto en las pilas SVO y VMB (6,04% y 6,19%) y la pila VOO, es la que menos carbono total extraíble asociado a las sustancias húmicas tiene (4,92%). La aplicación de basalto molido biodinámico, a las pilas de estiércol vacuno aumentó los valores de carbono total extraíble, asociado a las sustancias húmicas, excepto en la pila sin volteo. El Carbono de los ácidos fúlvicos es mayor en la pila SVO y VMB acorde con los mayores valores de carbono total extraíble. El carbono de los ácidos húmicos es menor en la pila VVO que en el resto.

Todas las pilas se encuentran dentro del rango adecuado para su uso agrícola, respecto a la relación de humificación y también respecto al índice de humificación, referenciados en la bibliografía. Respecto al porcentaje de ácidos húmicos destacan el de la pila SVB y también la VVB frente al resto de pilas ensayadas, dando en este caso importancia a la adición del preparado biodinámico a base de basalto a las pilas que podría contribuir a aumentar el % de ácidos húmicos. Este mismo comportamiento se ha observado para la relación de polimerización.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adani, F., Genevini, P., Gasperi, F., y Zorzi, G. (1997). Organic Matter Evolution Index (OMEI) as a Measure Of Composting Efficiency. *Compost Science y Utilization*, 5(2), 53-62.
- Azcona, L., Pascual, I., Aguirreola, J., Fuentes, M., García Mina, J., y Sánchez Díaz, M. (2011). Growth and Development of Pepper Are Affected by Humic Substances Derived from Composted Sludge. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174(6), 916-924.
- Beltrán, F., García Araya, J., y Álvarez, P. (1999). Wine Distillery Wastewater Degradation. Oxidative Treatment Using Ozone and Its Effect on the Wastewater Biodegradability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(9), 3911-3918.
- Bernal, M., Albuquerque, J., y Moral, R. (2009). Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment. *Bioresource Technology*, 10(22), 444-453.
- Bueno, P., Cabrera, F., y Díaz, M. (2008). Factores que afectan al proceso de compostaje. (IRNAS, Ed.) 2(4), 16-570.
- Burton, C. (2007). The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure. 112(3), 208-216.
- Burton, C., y Turner, C. (Enero de 2003). Manure Management: Treatment strategies for sustainable agriculture. *Silsoe*, 26(2), 451.
- Bustamante, M., Paredes, C., Moral, R., Pérez, M., Pérez, A., y Moreno, J. (Diciembre de 2007). Short-Term Carbon and Nitrogen Mineralisation in Soil Amended with Winery and Distillery Organic Wastes. *Bioresource Technology*, 98(17), 269-277.
- Camacho, A. (2009). Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España. 1(1), 9-59.
- Campitelli, P., Velasco, M., y Ceppi, S. (15 de Julio de 2006). Chemical and physicochemical characteristics of humic acids extracted from compost, soil and amended soils. 69(5), 1234-1239.

- Canet, R., y Albiach, R. (2008). Aplicaciones del compost en Agricultura Ecológica. *Mundi Prensa*, 1(3), 379-396.
- Castaldi, P., Guido, A., Merella, R., y Pietro, M. (Febrero de 2005). Study of the organic matter evolution during municipal soil waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. 25(2), 209-213.
- Chandler, J., Jewell, W., Gossett, J., Van Soest, P., y Robertson, J. (1980). Predicting methane fermentation biodegradability. *Biotechnol*, 10(2), 93-107.
- Chen, Y., y Imbar, Y. (1993). Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting in relation to compost maturity. 104(2), 189-196.
- Ciavatta, C., Govi, M., Antisari, L., y Sequi, P. (1990). Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinilpyrrolidone. 509(1), 141-146.
- Dalzell, A., Biddlestone, A., Gray, K., y Thurairajan, K. (1991). Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. *Boletín de suelos de la FAO*, 56, 5-159.
- Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. (30 de Diciembre de 2014). *Boletín Oficial del Estado*, 370(44), 44. Obtenido de <https://www.boe.es/doue/2014/370/L00044-00086.pdf>
- Epstein, E. (1997). The Science of Composting. *Agricultural Sciences*, 6(4), 504.
- Escobar, F., Sánchez Ponce, J., y Azero, M. (2012). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. 5(3), 390-410.
- FAO. (2019). Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación.*, 3(2), 23-47.
- Golueke, C. (1992). Bacteriology of composting. *Bio Cycle*, 33(1), 55-57.

- Goyal, S., Dhull, S., y Kappoor, K. (Septiembre de 2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bio Technol*, 96(14), 1584-1591.
- Guixot, L. (2018). Compostaje de residuos agrícolas y de jardinería urbana, orientados a la agricultura ecológica, en el ámbito geográfico de Villena. 9-75.
- Harada, Y., y Inoko, A. (1980). The measurement of the cation-exchange capacity of composts for estimation of degree of maturity. *Soil Sci*, 127-134.
- Haug, R. (1993). The Practical Handbook of Compost Engineering. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 4(1), 752-754.
- Hogg, D., Barth, E., Favoino, M., Centemero, V., Caimi, F., Amlinger, W., . . . Antler, S. (2002). Comparision of compost standars within the EU, North America and Australasia.
- Holz, S., Ingelmo, F., y Canet, R. (2000). Long term effects of the application of sewage sludge and vegetal cover on some physical and physicochemical properties of a degraded soil. *Agrochimica*, 44(4), 132-139.
- Iannotti, D., Grebus, M., Toth, B., Madden, L., y Hoitink, H. (1994). Oxygen respirometry to assess the stability and maturity of composted municipal solid waste. 1177-1183.
- Iglesias, E., y Álvarez, C. (1993). Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse. *Biology and Fertility of Soils*, 16, 313-318.
- Iglesias, E., y Pérez, V. (1992). Composting of domestic refuse and sewage sludge. *Resources, Conservation and Recycling*, 6, 243-257.
- Iglesias, E., y Pérez, V. (15 de Marzo de 1992). Determination of maturity indices for city refuse composts. 38(4), 331-343.
- Iglesias, E., y Pérez, V. (1992). Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts. *Bioresour Technol*, 41(3), 265-272.
- Iglesias, E., Barral, M., y Marhuenda, F. (2008). Indicadores de estabilidad y madurez del compost. 243-283.

- Jhorar, B., Phogat, V., y Malik, E. (1991). Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Rest*, 5(4), 297-306.
- Jiménez, M. (1998). Normas de calidad del compost. *Elselvier Publishers*.
- Kayhanian, M., y Tchobanoglous, G. (1992). Computation of C/N ratios for various organic fractions. 33(5), 58-60.
- Lasaridi, K., Protopapa, I., Kotsou, M., Pilidis, G., Manios, G., y Kyriacoua, A. (2006). Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. *Journal of Environmental Management*, 80(1), 58-65.
- Lax, A., Roig, A., y Costa, F. (Octubre de 1986). A method for determining the cation exchange capacity of organic materials. *Plant and Soil*, 94, 349-355.
- Lei, F., y Gheynst, J. (2000). The effect of microbial inoculation and pH on microbial community structure changes during composting. *Process Biochemistry*, 35(9), 923–929.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. (2011). *Boletín Oficial del Estado*, 13046(181), 1983-1984. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/l/2011/07/28/22/con>
- Little, D., y Croteau, R. (1994). Biochemistry of Essential Oil Terpenes. *Flavor Chemistry*, 21(1), 239-253.
- Little, D., y Croteau, R. (1994). Biochemistry of Essential Oil Terpenes. *Flavor Chemistry*, 21(1), 239-253. doi:[https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4693-1\\_21](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4693-1_21)
- Manios, V., Tsikalas, P., y Siminis, H. (1989). Phytotoxicity of olive tree leaf compost in relation to the organic acid concentration. 27(4), 307-317.
- Masaguer, A., y Benito, M. (2008). Evaluación de la calidad del compost. *Elselvier Publishers*, 285-304.
- Michel, F., Pecchia, J., y Rigot, J. (2004). Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. 12, 323-334.
- Montes García, L. (2015). Valorización de flujos residuales orgánicos generados en entornos urbanos mediante co-compostaje. 10-109.

- Moreno, J., y Mormeneo, S. (2008). Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. *Mundi Prensa*, 111-140.
- Moreno, J., Suárez, F., Vargas García, M., López Gozález, J., Jurado, M., y Cervera, O. (2014). Optimización del fraccionamiento de sustancias húmicas en muestras procedentes del compostaje de restos agrícolas. *Elsevier Publishers*.
- Navarro, A., Cegarra, J., Roig, A., y Bernal, M. (1991). An automatic microanalysis method for the determination of organic carbón in wastes. *Commun Soil Sci*, 22, 2137-2144.
- Navarrón, L. (2016). Compostaje de tronco de palmera con lodos de depuración de aguas residuales urbanas. 63-84. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11000/3249>
- Nelson, D., y Sommer, L. (Enero de 1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. *Methods of Soils Analysis*, 961-1010.
- Nogales, R., y Gallardo Lara, F. (1984). Criterios para la determinación del grado de madurez de los composts de basura urbana. *Recuperación de Recursos de los Residuos*, 99-111.
- Orden de 3 de diciembre de 2003, de la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, por la que se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrarias de la Región de Murcia. (2003). *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 286(57), 9197-9218. Obtenido de <http://www.borm.es/borm/documento?obj=anuyid=363903>
- Paredes, C., Bernal, M. P., Cegarra, J., y Roig, A. (2002). Bio- degradation of olive mill wastewatersludge by its co-composting whit agricultural wastes. *Bioresource Technology*, 8(1), 1-8.
- Pfeiffer, E. (1992). Introducción al Método Agrícola Biodinámico. 3-14.
- Piamonte, R. (2002). Biofertilizante líquido enriquecido. *Mensual Associação Brasileira de Agricultura Biodinâmica*.
- Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana (PIRCVA) (RD 55/2019). (2019). *DOGV N° 85367 26.04.2019*.

- Porta, J., Roquero, C., y López, M. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 645-687.
- Reeve , J., Carpenter Boggs, L., Reganold, J., York, A., y Brinton, W. (2010). Influence of biodynamic preparations on compost development and resultant compost extracts on wheat seedling growth. *Bioresource Technology*, 101(14), 659-658.
- Reglamento 2009/1069/CE. (2009). *Boletín Oficial del Estado*, 300(1), 300-332. Obtenido de <https://www.boe.es/doue/2009/300/L00001-00033.pdf>
- Reglamento UE 2019/1009 Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. (2019). *Boletín Oficial del Estado*.
- Richard, T., Trautmann, N., Krasny, M., Fredenburg, S., y Stuart, C. (1996). Cornell Composting. 107.
- Robinson, J., y Stentiford, E. (1993). *Improving the aerated static pile composting method by the incorporation of moisture control*.
- Rodas, H., Palma, J., Olivares, E., Gutiérrez, E., y Vázquez, R. (2019). *Biodynamic preparations on static pile composting from prickly pear cactus and moringa crop wastes*.
- Roig, A., Lax, A., Cegarra, J., Costa, F., y Hernández, M. (1988). Cationexchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. *Soil Sci*, 146, 311-316.
- Roletto, E., Consiglio, M., Jodice, R., y Barberis, R. (1985). Chemical parameters for evaluating compost maturity. *BioCycle*, 26(2), 46-47.
- Rufete Saez, A. B. (2015). Caracterización de Residuos Ganaderos del Sureste Español: Implicaciones Agronómicas y Medioambientales. 103.
- Rynk, R. (1992). On Farm Composting Handbook.
- Sánchez, M., Correa, A., Pérez Aurelia, y Blanco, D. (2016). De Residuo a Recurso: El Camino hacia la Sostenibilidad. *Mundi Prensa*, 348-350.
- Sánchez, M., Roig, A., Paredes, C., y Bernal, M. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Biores Technol*, 78(3), 301-308.

- Scalbert, A. (1991). Antimicrobial properties of tannis. *Phytochemistry*, 30, 3875-3883.
- Scalbert, A. (1991). *Antimicrobial properties of tannis* (Vol. 30). Obtenido de [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)83426-L](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)83426-L)
- Senesi, N. (1989). Composted materials as organic fertilizers. *Composted Material*, 81, 521-542.
- Soliva, M. (2001). Compostatge i gestió de residus orgànics. 111.
- Theisen, H., y Tchobanoglous, G. (1993). Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue. *McGraw Hill*, 5(1), 978.
- Tovar Martínez, F. (2013). Determinación de las curvas de temperatura de mezclas de restos de poda de jardinería pública y estiércol de vaca para su compostaje. 40-64.
- UNE-EN ISO 11885:2010 Calidad del agua. Determinación de elementos seleccionados por espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) (ISO 11885:2007). (2010). *Asociación Española de Normalización*, 6-31.
- Villanueva Reategui, J. (2015). Efecto de las técnicas de elaboración biodinámica y microorganismos eficaces en la calidad del compost en condiciones de la estación experimental agropecuaria. 39-40.
- Zucconi, F., y De Bertoldi, M. (1987). Compost Specifications for the Production and Characterization of Compost from Municipal Solid Waste. *Compost: Production, Quality and Use*, 276-295.
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., y De Bertoldi, M. (1981). Evaluating toxicity of immature compost. 22(2), 54-57.

## ANEXOS

### *Anexo 1. Índices de evolución de seguimiento térmico del proceso.*

Parámetro	SVO	VVO	VM O	SVB	VVB	VM B
Días fase bio-oxidativa	248	248	248	248	248	248
Nº Días F.Bio-oxid/ >40°C	227	183	161	144	185	148
Nº Días F.Bio-oxid/ >50°C	65	145	91	60	145	100
Nº Días F.Bio-oxid/ >60°C	1	38	46	1	50	53
Temperatura máxima pila	60,2	70,6	72,1	60,2	70,6	72,1
Temperatura promedio pila	46,2	49,5	47,6	41,6	49,7	47,3
Temperatura mínima pila	30,0	30,0	25,0	20,0	30,0	26,0
Nº Días >40°C/ Días fase bio-oxidativa	0,91 5	0,73 8	0,64 9	0,58 1	0,74 6	0,59 7
Índice EXI <sup>2</sup> (°C <sup>2</sup> )	276 571	346 569	317 808	220 816	350 598	311 611
Ratio EXI <sup>2</sup> /días f. bio-oxid.	111 5	139 7	128 1	890	141 4	125 6

**Anexo 2. Temperatura durante los días de proceso del compostaje.**

Temperatura	Días de proceso SVO	Días de proceso VVO	Días de proceso VMO	Días de proceso SVB	Días de proceso VVB	Días de proceso VMB
>70 °C	0	1	14	0	1	14
>65 °C	0	13	37	0	13	37
>60 °C	1	38	46	1	50	53
>55 °C	13	76	63	15	74	63

**Anexo 3. Densidad Aparente de las pilas de compostaje.**

Pilas	Inicial (kg/L)	Madurez (kg/L)
SVO	0,309	0,536
VVO	0,309	0,642
VMO	0,309	0,504
SVB	0,309	0,520
VVB	0,309	0,603
VMB	0,309	0,534

**Anexo 4. Humedad de las pilas de compostaje.**

Pilas	Inicial %	Madurez %
SVO	51,4	49,2
VVO	51,4	53,3
VMO	51,4	40,1
SVB	51,4	56,9
VVB	51,4	51,4
VMB	51,4	49,2

**Anexo 5. pH de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Fase Bio Oxidativa</b>	<b>Madurez</b>
<b>SVO</b>	8,6	8,3	8,0
<b>VVO</b>	8,6	8,0	7,7
<b>VMO</b>	8,6	8,4	8,1
<b>SVB</b>	8,6	8,1	8,0
<b>VVB</b>	8,6	7,9	7,6
<b>VMB</b>	8,6	8,1	7,9

**Anexo 6. Conductividad Eléctrica de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>Inicial (dS/m)</b>	<b>Fase Bio Oxidativa (dS/m)</b>	<b>Madurez (dS/m)</b>
<b>SVO</b>	6,47	9,73	7,75
<b>VVO</b>	6,47	5,94	6,25
<b>VMO</b>	6,47	7,09	6,30
<b>SVB</b>	6,47	5,62	5,86
<b>VVB</b>	6,47	5,57	6,45
<b>VMB</b>	6,47	6,79	5,72

**Anexo 7. Polifenoles de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas (mg/Kg)</b>	<b>Madurez (mg/Kg)</b>
<b>SVO</b>	555
<b>VVO</b>	282
<b>VMO</b>	530
<b>SVB</b>	480
<b>VVB</b>	319
<b>VMB</b>	408

**Anexo 8. Materia orgánica de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>Inicial %</b>	<b>Fase Bio Oxidativa %</b>	<b>Madurez %</b>
<b>SVO</b>	69,5	65,3	56,0
<b>VVO</b>	69,5	43,5	42,8
<b>VMO</b>	69,5	55,6	44,1
<b>SVB</b>	69,5	65,4	51,7
<b>VVB</b>	69,5	46,5	41,0
<b>VMB</b>	69,5	58,1	50,3

**Anexo 9. Carbono orgánico total de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>Inicial %</b>	<b>Fase Bio Oxidativa %</b>	<b>Madurez %</b>
<b>SVO</b>	40,0	34,1	30,1
<b>VVO</b>	40,0	29,5	25,8
<b>VMO</b>	40,0	34,0	29,1
<b>SVB</b>	40,0	37,1	30,8
<b>VVB</b>	40,0	28,7	29,1
<b>VMB</b>	40,0	33,7	30,9

**Anexo 10. Nitrógeno total de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>Inicial %</b>	<b>Fase Bio Oxidativa %</b>	<b>Madurez %</b>
<b>SVO</b>	2,90	3,31	3,41
<b>VVO</b>	2,90	2,99	2,84
<b>VMO</b>	2,90	3,25	3,00
<b>SVB</b>	2,90	3,37	3,31
<b>VVB</b>	2,90	2,83	3,25
<b>VMB</b>	2,90	3,56	3,41

**Anexo 11. Relación carbono nitrógeno de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>Inicial</b>	<b>Fase Bio Oxidativa</b>	<b>Madurez</b>
<b>SVO</b>	13,8	10,3	8,83
<b>VVO</b>	13,8	9,85	9,09
<b>VMO</b>	13,8	10,4	9,72
<b>SVB</b>	13,8	11,0	9,32
<b>VVB</b>	13,8	10,1	8,96
<b>VMB</b>	13,8	9,46	9,06

**Anexo 12. Fósforo total de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>Inicial g/kg</b>	<b>Fase Bio Oxidativa g/kg</b>	<b>Madurez g/kg</b>
<b>SVO</b>	4,01	5,57	5,42
<b>VVO</b>	4,01	5,92	4,04
<b>VMO</b>	4,01	8,19	5,13
<b>SVB</b>	4,01	6,51	4,45
<b>VVB</b>	4,01	4,01	5,23
<b>VMB</b>	4,01	7,81	7,81

**Anexo 13. Potasio total de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>Inicial g/kg</b>	<b>Fase Bio Oxidativa g/kg</b>	<b>Madurez g/kg</b>
<b>SVO</b>	17,8	23,4	18,8
<b>VVO</b>	17,8	16,2	12,6
<b>VMO</b>	17,8	23,0	17,2
<b>SVB</b>	17,8	18,0	14,0
<b>VVB</b>	17,8	12,1	15,0
<b>VMB</b>	17,8	19,2	14,2

**Anexo 14. Sodio total de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>Inicial g/kg</b>	<b>Fase Bio Oxidativa g/kg</b>	<b>Madurez g/kg</b>
<b>SVO</b>	7,62	10,27	7,65
<b>VVO</b>	7,62	6,51	5,37
<b>VMO</b>	7,62	9,31	7,17
<b>SVB</b>	7,62	6,98	5,75
<b>VVB</b>	7,62	4,98	6,18
<b>VMB</b>	7,62	7,60	5,71

**Anexo 15. Capacidad de intercambio catiónico de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>meq/CT</b>	<b>meq/g MOT</b>
<b>SVO</b>	1,68	90,5
<b>VVO</b>	1,99	120,1
<b>VMO</b>	1,90	125,2
<b>SVB</b>	1,84	117,8
<b>VVB</b>	1,70	83,6
<b>VMB</b>	1,75	108,4

**Anexo 16. Índice de germinación de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>%</b>
<b>SVO</b>	77,4
<b>VVO</b>	95,2
<b>VMO</b>	91,0
<b>SVB</b>	111,4
<b>VVB</b>	87,7
<b>VMB</b>	88,7

**Anexo 17. Carbono extraíble de las pilas de compostaje.**

Pilas	%
SVO	6,19
VVO	4,92
VMO	5,70
SVB	5,47
VVB	5,60
VMB	6,04

**Anexo 18. Carbono de ácidos fúlvicos de las pilas de compostaje.**

Pilas	%
SVO	1,70
VVO	1,16
VMO	1,30
SVB	1,03
VVB	1,20
VMB	1,49

**Anexo 19. Carbono de ácidos húmicos de las pilas de compostaje.**

Pilas	%
SVO	4,49
VVO	3,77
VMO	4,40
SVB	4,44
VVB	4,41
VMB	4,55

**Anexo 20. Relación humificación de las pilas de compostaje.**

Pilas	%
SVO	20,6
VVO	19,1
VMO	19,6
SVB	17,7
VVB	19,3
VMB	19,6

**Anexo 21. Índice de humificación de las pilas de compostaje.**

Pilas	%
SVO	14,9
VVO	14,6
VMO	15,1
SVB	14,4
VVB	15,1
VMB	14,7

**Anexo 23. Porcentaje de ácidos húmicos de las pilas de compostaje.**

Pilas	%
SVO	72,5
VVO	76,5
VMO	77,2
SVB	81,2
VVB	78,6
VMB	75,3

**Anexo 23. Relación de polimerización de las pilas de compostaje.**

<b>Pilas</b>	<b>%</b>
<b>SVO</b>	2,6
<b>VVO</b>	3,3
<b>VMO</b>	3,4
<b>SVB</b>	4,3
<b>VVB</b>	3,7
<b>VMB</b>	3,1

**Anexo 24. Características de los materiales utilizados en los procesos de compostaje sobre materia seca.**

<b>Origen:</b>	<b>Ganader o</b>	<b>Mineral</b>
<b>Municipio:</b>	<b>Lliria</b>	<b>Lliria</b>
<b>Tipo de material:</b>	<b>Estiércol vacuno (EV)</b>	<b>Basalto molido (B)</b>
<b>Parámetros:</b>		
<b>DA (k/L)</b>	0,309	1,382
<b>Humedad (%)</b>	51,4	3,6
<b>pH</b>	8,6	9,7
<b>CE (dS/m)</b>	6,5	0,8
<b>MOT %</b>	69,5	-
<b>COT %</b>	40,0	0,21
<b>NT %</b>	2,90	-
<b>COT/NT</b>	13,8	-
<b>Na (g/kg)</b>	2,77	0,34
<b>K (g/kg)</b>	6,34	0,59
<b>P (g/k)</b>	1,48	0,22

<b>PH (mg/Kg)</b>	1868	-
<b>CaO %</b>	5,18	3,05
<b>MgO %</b>	0,81	2,32
<b>S %</b>	0,66	0,02
<b>Fe mg/kg</b>	1640,3	21583
<b>Mn mg/kg</b>	149,9	437,7
<b>Cr mg/kg</b>	10,5	92,6
<b>Co mg/kg</b>	1,31	20,32
<b>Ni mg/kg</b>	3,98	32,0
<b>Cu mg/kg</b>	39,2	42,7
<b>Zn mg/kg</b>	222,0	39,1
<b>Cd mg/kg</b>	0,04	0,44
<b>Pb mg/kg</b>	41,0	5,96

**Anexo 25. Evolución de materia orgánica y su fracción sólida a lo largo del proceso de compostaje.**

Tiempo de compostaje	pH	C E (dS/m)	M OT (%)	Pérdida MOT (%)	CO T/NT	C OT (%)	N T (%)	P (g/kg)	K (g/kg)	N a (g/kg)
<b>SVO: 100% EV (%vol.)</b>										
Inicial	8,6	6,47	69,5		13,8	40,0	2,90	4,01	17,8	7,62
Fase bio-oxidativa	8,3	9,73	65,3		10,3	34,1	3,31	5,57	23,4	10,27
Madurez	8,0	7,75	56,0		8,83	30,1	3,41	5,42	18,8	7,65
<b>VVO: 100% EV (%vol.)</b>										
Inicial	8,6	6,47	69,5		13,8	40,0	2,90	4,01	17,8	7,62
Fase bio-oxidativa	8,0	5,94	43,5		9,85	29,5	2,99	5,92	16,2	6,51
Madurez	7,7	6,25	42,8		9,09	25,8	2,84	4,04	12,6	5,37
<b>VMO: 100% EV (%vol.)</b>										
Inicial	8,6	6,47	69,5		13,8	40,0	2,90	4,01	17,8	7,62
Fase bio-oxidativa	8,4	7,09	55,6		10,4	34,0	3,25	8,19	23,0	9,31
Madurez	8,1	6,30	44,1		9,72	29,1	3,00	5,13	17,2	7,17

<b>SVB: EV (%vol.)</b>										
<b>Inicial</b>	8,6	6,47	6,95		13,8	4,00	2,90	4,01	1,78	7,62
<b>Fase bio-oxidativa</b>	8,1	5,62	6,54		11,0	3,71	3,37	6,51	1,80	6,98
<b>Madurez</b>	8,0	5,86	5,17		9,32	3,08	3,31	4,45	1,40	5,75
<b>VVB: EV (%vol.)</b>										
<b>Inicial</b>	8,6	6,47	6,95		13,8	4,00	2,90	4,01	1,78	7,62
<b>Fase bio-oxidativa</b>	7,9	5,57	4,65		10,1	2,87	2,83	4,01	1,21	4,98
<b>Madurez</b>	7,6	6,45	4,10		8,96	2,91	3,25	5,23	1,50	6,18
<b>VMB: EV (%vol.)</b>										
<b>Inicial</b>	8,6	6,47	6,95		13,8	4,00	2,90	4,01	1,78	7,62
<b>Fase bio-oxidativa</b>	8,1	6,79	5,81		9,46	3,37	3,56	7,81	1,92	7,60
<b>Madurez</b>	7,9	5,72	5,03		9,06	3,09	3,41	5,16	1,42	5,71

**Anexo 26. Principales características de calidad de los compost finales  
obtenidos (datos referidos a materia seca).**

<b>Parámetro</b>	<b>SVO</b>	<b>VVO</b>	<b>VMO</b>	<b>SVB</b>	<b>VVB</b>	<b>VMB</b>
<b>Humedad (%)</b>	49,2	53,3	40,1	56,9	51,4	51,7
<b>Densidad (kg/L)</b>	0,536	0,642	0,504	0,520	0,603	0,534
<b>pH</b>	8,0	7,7	8,1	8,0	7,6	7,9
<b>Conductividad eléctrica, CE (dS/m)</b>	7,75	6,25	6,30	5,86	6,45	5,72
<b>Materia Orgánica Total (%)</b>	56,0	42,8	44,1	51,7	41,0	50,3
<b>Carbono orgánico Total (%)</b>	30,1	25,8	29,1	30,8	29,1	30,9
<b>NT (%)</b>	3,41	2,84	3,00	3,31	3,25	3,41
<b>Relación C/N</b>	8,83	9,09	9,72	9,32	8,96	9,06
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%)</b>	1,24	0,93	1,18	1,02	1,20	1,18
<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	2,26	1,51	2,07	1,69	1,81	1,71
<b>CaO (%)</b>	8,24	12,43	10,25	7,56	11,42	9,44
<b>MgO (%)</b>	1,79	1,31	2,04	1,63	1,43	1,50
<b>Fe (%)</b>	0,52	0,51	0,71	0,72	0,68	0,44
<b>Sodio g/kg</b>	7,65	5,37	7,17	5,75	6,18	5,71
<b>Cr mg/kg</b>	33,7	23,0	26,3	40,1	37,3	22,2
<b>Co mg/kg</b>	4,24	3,73	4,54	5,65	4,28	2,72
<b>Ni mg/kg</b>	10,7	8,32	9,55	13,5	13,2	8,88
<b>Cu mg/kg</b>	55,9	46,7	56,5	53,8	54,5	67,5
<b>Zn mg/kg</b>	279	231	429	245	281	271
<b>Cd mg/kg</b>	0,21	0,10	0,46	0,11	0,23	0,10
<b>Pb mg/kg</b>	61,4	48,5	53,0	60,6	55,3	61,2
<b>Cromo VI (Cr VI)</b>						
<b>Carbono extraíble (%)</b>	6,19	4,92	5,70	5,47	5,60	6,04
<b>Carbono de ácidos fúlvicos (%)</b>	1,70	1,16	1,30	1,03	1,20	1,49
<b>Carbono de ácidos húmicos (%)</b>	4,49	3,77	4,40	4,44	4,41	4,55

<b>Índice de germinación, IG (%)</b>	77,4	95,2	91,0	111,4	87,7	88,7
<b>Polifenoles hidrosolubles (mg/Kg)</b>	555	282	530	480	319	408
<b>Capacidad intercambio catiónico CCC/CT (meq/CT)</b>	1,68	1,99	1,90			
<b>Capacidad intercambio catiónico, CCC (meq/MOT)</b>	90,5	120,1	125,2			
<b>Relación de humificación (HR)</b>	20,6	19,1	19,6	17,7	19,3	19,6
<b>Índice de humificación (HI)</b>	14,9	14,6	15,1	14,4	15,1	14,7
<b>Porcentaje de ácidos húmicos (PHA)</b>	72,5	76,5	77,2	81,2	78,6	75,3
<b>Relación de polimerización (PI)</b>	2,6	3,3	3,4	4,3	3,7	3,1