

**EFFECTOS DEL TIPO DE ESTIÉRCOL EN LA
EVOLUCIÓN DE SU CO-COMPOSTAJE CON
RESIDUOS VEGETALES
Y EN LA CALIDAD AGRONÓMICA
DEL COMPOST OBTENIDO**



MARÍA CONCEPCIÓN SANTIAGO CUBAS

2021



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza a la alumna **D^a. M^a Concepción Santiago Cubas**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “Efectos del tipo de estiércol en la evolución de su co-compostaje con residuos vegetales y en la calidad agronómica del compost obtenido”, bajo la dirección de D^a. Concepción Paredes Gil, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 7 de septiembre de 2021

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

Firmado digitalmente
por CONCEPCION
PAREDES|GIL
Fecha: 2021.09.07
13:06:23 +02'00'

Fdo.: Concepción Paredes Gil

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

“EFECTOS DEL TIPO DE ESTIÉRCOL EN LA EVOLUCIÓN DE SU CO-COMPOSTAJE CON RESIDUOS VEGETALES Y EN LA CALIDAD AGRONÓMICA DEL COMPOST OBTENIDO”



Vº Bº DIRECTORA

CONCEPCI
O
N|PAREDES
|GIL

Firmado digitalmente
por CONCEPCION|
PAREDES|GIL
Fecha: 2021.09.09
10:38:43 +02'00'

Concepción Paredes Gil

ALUMNA

María Concepción Santiago Cubas

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MASTER

IDENTIFICACIONES

Autor: María Concepción Santiago Cubas

Título: Efectos del tipo de estiércol en la evolución de su co-compostaje con residuos vegetales y en la calidad agronómica del compost obtenido

Title: Effects of the type of manure on the evolution of its co-composting with plant residues and on the agronomic quality of the compost obtained.

Director/es del TFM: Concepción Paredes Gil

Año: 2021

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

Tipo de proyecto: Investigación

Palabras claves: Residuos orgánicos, compost, degradación de la materia orgánica, calidad agrícola, higienización.

Keywords: Organic waste, compost, degradation of organic matter, agricultural quality, sanitation.

Nº citas bibliográficas: 100

Nº de tablas: 10

Nº de figuras: 26



RESUMEN

Durante las últimas décadas, se ha observado un aumento de la población, con una mayor producción de alimentos, y una concentración de habitantes en las ciudades. Este hecho ha provocado un incremento en la generación de residuos orgánicos de origen urbano, agrícola y ganadero, los cuales demandan una gestión adecuada que permita el reciclado del residuo generado. En este sentido, el compostaje puede ser un tratamiento factible para reciclar estos residuos, y, por lo tanto, mejorar sus propiedades para su uso agrícola. De este modo, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tipo de estiércol durante su co-compostaje con residuos orgánicos de origen municipal y agrícola de la zona noroeste de la isla de Gran Canaria, para el uso posterior de los compost obtenidos como enmienda orgánica en suelos o como sustrato para el cultivo sin suelo. Para ello, se utilizaron tres tipos de estiércol: gallinaza, estiércol de cabra y estiércol de vaca, los cuales se sometieron a un proceso de co-compostaje mezclándolos con residuos vegetales procedentes de jardines municipales y de residuos de cultivos agrícolas, en las siguientes proporciones (sobre peso fresco): 37,6% paja +32,7% estiércol +29,7% poda. El sistema de compostaje empleado fue un sistema dinámico abierto de hileras volteadas, conformándose tres pilas trapezoidales de 1,5 metros de altura x 2,5 metros de ancho y de 16 metros de longitud. Durante el proceso de compostaje se estudió la evolución de la temperatura, la humedad y de diferentes parámetros físico-químicos y químicos, y también se

evaluó el valor agrícola, la higienización y la madurez de los compost obtenidos. Los resultados obtenidos mostraron que las tres pilas consiguieron una adecuada higienización de acuerdo a los requerimientos térmicos establecidos en la normativa (temperatura $\geq 60^{\circ}\text{C}$ durante al menos 7 días) y se obtuvo un producto final o compost apto para su utilización agrícola.

ABSTRACT

During the last decades, there has been an increase in population, with increased food production, and a concentration of inhabitants in cities. This fact has led to an increase in the generation of organic waste of urban, agricultural and livestock origin, which requires adequate management that allows the recycling of the waste generated. In this sense, composting can be a feasible treatment to recycle this waste, and, therefore, improve its properties for agricultural use. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of the type of manure during its co-composting with organic waste of municipal and agricultural origin from the northwest of the island of Gran Canaria, for the subsequent use of the compost obtained as organic amendment in soils or as a substrate for soilless cultivation. For this, three types of manure were used: chicken manure, goat manure and cow manure, which were subjected to a co-composting process mixing them with plant residues from municipal gardens and agricultural crop residues, in the following proportions (on fresh weight): 37.6% straw + 32.7% manure + 29.7% pruning. The composting system used was an open dynamic system of overturned rows, forming three trapezoidal piles 1.5 meters high x 2.5 meters wide and 16 meters long. During the composting process, the evolution of temperature, humidity and different physical-chemical and chemical parameters were studied, and the agricultural value, sanitation and maturity of the compost obtained were also evaluated. The results obtained showed that the three piles achieved adequate sanitation according to the thermal requirements established in the regulations (temperature $\geq 60^{\circ}\text{C}$ for at least 7 days) and a final product or compost suitable for agricultural use was obtained.

AGRADECIMIENTOS

Andaluces de Jaén,
aceituneros altivos,
decidme en el alma, ¿quién,
quién levantó los olivos?
No los levantó la nada,
ni el dinero, ni el señor,
sino la tierra callada,
el trabajo y el sudor.
(...)
Dentro de la claridad
del aceite y sus aromas,
indican tu libertad
la libertad de tus lomas.

Miguel Hernández

En primer lugar mi agradecimiento es para este gran poeta, al que conocí en la ciudad de Orihuela, por transformar su consagrada y corta vida en la esencia eterna del arte de vivir en libertad; como la maravilla interna que sucede en un proceso, de tan sencillo tan complejo, para producir el compost que puede devolver la vida al suelo.

Sobre todo, mis agradecimientos son para el profesorado del Máster Universitario de Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos, de la Universidad Miguel Hernández en Orihuela, por su plena dedicación en la elaboración y enseñanza de unos estudios que conforman los pilares requeridos para salvar a nuestro planeta tierra y, en especial, a la persona que ha dado forma y valor a este trabajo, la Doctora Concepción Paredes Gil por su silenciosa colaboración y entrega a su labor.

Finalmente agradezco a mi madre su confianza, a mi pareja su paciencia y a quienes no he podido atender como a mi hermano y mi padre; Y un eterno agradecimiento a Dios por su luz e inspiración.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 RESIDUOS VEGETALES.....	13
1.1.1. Situación del sector agrícola en España.....	15
1.1.2. Origen de los residuos de poda y jardinería.....	18
1.1.3. Características de los residuos vegetales.....	19
1.1.4. Producción y destino de los residuos vegetales.....	23
1.2 RESIDUOS GANADEROS.....	26
1.2.1. Situación del sector ganadero en España.....	26
1.2.2. Características de los estiércoles ganaderos.....	30
1.2.3. Producción y destino de los estiércoles ganaderos.....	31
1.3 COMPOSTAJE.....	
1.3.1. Herramienta para la mitigación del cambio climático.....	31
1.3.2. Definición y etapas del proceso.....	34
1.3.3. Condiciones del proceso de compostaje.....	36
1.3.4. Sistemas de compostaje.....	38
1.3.5. Evaluación de la calidad del compost.....	43
1.3.6. Normativa aplicada para establecer la calidad de los compost... ..	47
2. OBJETIVOS.....	49
3 MATERIAL Y MÉTODOS.....	
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	51
3.2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL.....	54
3.2.1 Características de los residuos utilizados	54
3.2.2 Dispositivo de compostaje utilizado	55
3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	58
3.4. PARÁMETROS ANALIZADOS Y MÉTODOS UTILIZADOS	59
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1. EVOLUCIÓN DE LOS FACTORES RELATIVOS AL PROPIO PROCESO DE COMPOSTAJE	62

4.1.1	Temperatura.....	62
4.1.2	Humedad	65
4.2.	EVOLUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA Y DE SU FRACCIÓN SÓLIDA	67
4.2.1	Materia orgánica	67
4.2.2	Carbono orgánico total.....	68
4.2.3	Nitrógeno total.....	69
4.2.4	Relación COT / NT	71
4.3.	EVOLUCIÓN DE LA FRACCIÓN HIDROSOLUBLE.....	72
4.3.1	pH.....	72
4.3.2	Conductividad eléctrica.....	73
4.4	EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS COMPOST OBTENIDOS.....	74
5	CONCLUSIONES	75
6	BIBLIOGRAFÍA	77



1. INTRODUCCIÓN

En el marco global de la Unión Europea sobre desarrollo sostenible, la política agrícola común (PAC) en mayo del año 2020 establece los 9 objetivos de la futura PAC, donde sitúa las buenas prácticas medioambientales en el centro de la agricultura y la silvicultura garantizando a su vez que la protección del planeta y la producción de alimentos puedan ir de la mano. Para conseguir este reto se establece que debe compaginarse productividad con sostenibilidad para lo cual se ha de atender a preservar la biodiversidad de los ecosistemas como uno de los pilares básicos. En efecto, la productividad económica no puede ser mejorada si los ecosistemas naturales de los que dependemos son arruinados. En este contexto se entiende que “Europa está cambiando” ya que los mensajes clave de los objetivos específicos de la UE se refieren a la **Gestión eficiente del suelo**, ese recurso natural hasta ahora obviado, donde se enfatiza su valor situándolo como una de las más importantes fuentes naturales que aporta los nutrientes esenciales, el agua, el oxígeno y soporte para las plantas, además de proveer de muchos otros servicios esenciales a los ecosistemas terrestres. Pero en realidad ¿por qué es tan importante el suelo? Decir que el suelo es uno de los recursos naturales más importantes que nos proporciona bienes y servicios vitales para sostener la vida es un eufemismo. Un suelo sano y fértil es fundamental para la seguridad alimentaria, por lo que cualquier amenaza a estas funciones se convierte en una amenaza directa para la disponibilidad de alimentos (García, C., 2021). Se ha de destacar, dentro de este marco actual de políticas ambientales, el ‘Plan de Acción Europeo para la Agricultura Ecológica’ en el sector agrario con las nuevas estrategias de ‘Pacto Verde Europeo’ y ‘De la granja a la Mesa’, cuyo objetivo es alcanzar que el 25% del total de la superficie agraria europea sea ecológica en 2030 y, para lo cual, los Estados miembros de la UE, en particular España, dispondrán de los medios previstos en el Plan de Acción adoptado el 25/03/2021 en Bruselas por la Comisión Europea. En este contexto de sostenibilidad (Eje 3: Mejorar la contribución de la producción ecológica a la sostenibilidad) cobra vital importancia la Gestión, Tratamiento y Valorización de los residuos orgánicos como elemento para la conservación y regeneración de los suelos, atendiendo a la biodiversidad de éstos. También debe considerarse que el hecho de que la gestión de la materia orgánica contenida en los residuos, tanto domésticos como comerciales o industriales, sea una prioridad, tanto para evitar el vertido como para promover la soberanía alimentaria, al facilitar al sector agrario abonos locales ‘de calidad’ que permiten disminuir la dependencia del exterior y desarrollar un modelo agrícola más sostenible, que además contribuye a la reducción de la huella de carbono, no implica que haya que saturar a los suelos por encima de sus posibilidades e incluso, como se sigue haciendo en muchas ocasiones por falta de conocimiento o por intereses económicos, seguir contaminándolos por una inadecuada gestión o tratamiento de los residuos orgánicos (RO). La gestión de la mayoría de residuos orgánicos ha de plantearse a través de su utilización en suelos de distintos tipos y usos, pero estableciendo claramente cómo elegir los que pueden ser aplicados directamente o los que deben previamente tratarse. Si no se hace así se producirá un deterioro lento, pero continuado, de la calidad de nuestros suelos con todas las consecuencias que de ello pueden derivarse. No ha de olvidarse que el fuerte incremento en la producción de residuos y la dificultad y coste de verterlos en lugares adecuados favorece el intento de usar los suelos (y en particular los agrícolas) como vertederos encubiertos. Las cantidades de

RO producidos pueden sobrepasar la capacidad de los suelos para recibirlos y transformarlos y si se aplican incorrectamente aún se limitará más esta capacidad (Soliva, 2008). Este trabajo se elabora atendiendo a la necesidad de recordar los fundamentos del compostaje, para determinar la oportunidad actual de aplicarlo, identificar los factores que le afectan, los aspectos técnicos de su desarrollo y control, así como la influencia de todo ello en el rendimiento, en las emisiones y en la calidad, manejo y aplicaciones del compost. En última instancia, la aplicación agrícola de RO después de un proceso de compostaje será viable si éste se ha llevado a cabo correctamente; si se ha escogido el proceso de compostaje como tratamiento para la valorización de los RO, siendo conscientes de lo que representa, los beneficios que produzca, aunque difíciles de cuantificar, se manifestarán con el tiempo. Por tanto, no tiene sentido compostar residuos de mala calidad, tampoco compostar residuos “buenos” y hacerlo mal. Este sistema de tratamiento es un eslabón más en la protección de los suelos, en la producción de alimentos y en la gestión de residuos y si se decide aplicarlo tiene que llevarse a cabo con todos los controles y condicionantes de cualquier proceso de fabricación (Soliva, 2008).

1.1. RESIDUOS VEGETALES

Tradicionalmente los residuos se han venido clasificando en función de su origen en los distintos sectores de producción: primarios o de producción de materias primas, secundarios o industriales, y terciarios o de servicios. En el sector primario de producción se engloban los residuos ganaderos como estiércoles y purines, residuos agrícolas constituidos por restos de cosecha, de poda, etc. La producción de estos últimos ha ido evolucionando principalmente en las últimas décadas debido a: 1. El progreso económico y social que ha desplazado la población a los núcleos urbanos, 2. La intensificación de la agricultura y ganadería en zonas geográficas localizadas, y 3. El desarrollo de la industria agroalimentaria. Estas circunstancias han determinado la ruptura del sistema agropecuario, caracterizado por la reutilización/tratamiento de sus propios residuos o subproductos (restos de cosecha, estiércoles, etc.) utilizados habitualmente en el marco de las explotaciones donde se generaban y en la mayoría de los casos con vocación de materia prima, ya sea con fines de abonado o con destino a la alimentación animal. Por otro lado, en el medio agrícola, cada vez se utilizan más materiales orgánicos y subproductos procedentes de la industria agroalimentaria, que deben ser estudiados en profundidad antes de su aplicación en campo. Su valorización como enmiendas y fertilizantes debe hacerse teniendo en cuenta el marco legal existente, sin originar problemas de tipo ambiental o sanitario. A nivel nacional la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados, establece el concepto de “Residuo” como cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga la intención o la obligación de desechar. Dicha definición es aceptada en el Real Decreto Legislativo 1/2016 sobre prevención y control integrados de la contaminación. Esta ley excluye las materias fecales, paja y otro material natural, agrícola o silvícola, no peligroso, utilizado en explotaciones agrícolas y ganaderas, en la silvicultura o en la producción de energía a base de esta biomasa, mediante procedimientos o métodos que no pongan en peligro la salud humana o dañen el medio ambiente. Se regulan por esta Ley, los subproductos animales y sus productos

derivados, cuando se destinen a la incineración, a los vertederos o sean utilizados en una planta de biogás o de compostaje. Se expone de forma detallada el término de residuo y su clasificación ya que de ello deriva una serie de obligaciones: los procesos de gestión de los residuos están sometidos a unas reglas estrictas, autorizaciones diversas, informes periódicos, instalaciones adaptadas... considerando que queda totalmente prohibido el abandono, el enterrado y la quema no controlada. Con todas estas obligaciones la ley de residuos indica expresamente impulsar:

1. La recogida separada de biorresiduos
2. El compostaje doméstico y comunitario
3. El uso del compost producido a partir de biorresiduos y ambientalmente seguro en el sector agrícola, la jardinería o la regeneración de áreas degradadas, en sustitución de otras enmiendas orgánicas y fertilizantes minerales.

Además, uno de los objetivos de Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados, es el aumentar la transparencia en la gestión de los residuos y posibilitar su trazabilidad, en los términos de su valorización para destinarlos al compostaje o a la digestión anaerobia en particular de la fracción vegetal, los biorresiduos de grandes generadores y los biorresiduos generados en los hogares, y para ello se ha creado un registro e información de residuos, así como un inventario estatal de suelos contaminados. Dentro de los biorresiduos se encuentran los residuos de poda y jardines urbanos. Por lo que respecta a las sanciones se ha revisado su cuantía, atendiendo a la gravedad de las conductas, y se ha introducido la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental, donde se indica la obligación de reparación de los daños causados a los recursos naturales.

Respecto al marco legal, La nueva **Directiva de Residuos: Directiva 2018/851/UE**, que modifica la Directiva 2008/98/CE, marca las actuales líneas y estrategias a seguir por cada uno de los estados miembros, que a su vez desarrollarán los planes nacionales específicos en materia de residuos. Esta Directiva proporciona los instrumentos que permiten disociar la relación existente entre crecimiento económico y producción de residuos, haciendo especial hincapié en la prevención para reducir, tanto la cantidad y contenido en sustancias peligrosas como los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente de los residuos generados.

Por otro lado, la Agencia Europea de Medio Ambiente, a través del “European Topic Centre on Resource and Waste Management” (EEA,2006) estima la cantidad de 1,8·103 millones de toneladas de residuos generados en Europa, lo que supone 3,5 toneladas por habitante. Éstos provienen principalmente de actividades comerciales, urbanas, industriales, agricultura, construcción, minería y la energía. Según la Lista Europea de Residuos (LER), anteriormente denominada Catálogo Europeo de Residuos, modificada por la Decisión de la Comisión de 18 de diciembre de 2014 y transpuesta por orden MAM/304/2002, que actualmente consta de 20 capítulos, quedan los residuos agropecuarios incluidos en el capítulo 02 de la siguiente forma:

02 Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos.

Los residuos de tejidos vegetales presentan el código 02 01 03 dentro de la lista europea de residuos (LER) mientras que los residuos forestales presentan el código 02 01 07 dentro de la LER.

Sin embargo, los residuos de poda y jardines urbanos quedan incluidos en el capítulo 20 de la siguiente manera:

20 Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones), incluidas las fracciones recogidas selectivamente

Los residuos de parques y jardines (incluidos los residuos de cementerios) presentan el código 20 02 dentro de la lista europea de residuos (LER) y dentro de estos residuos los residuos biodegradables presentan el código 20 02 01 dentro de la LER.

Siguiendo las pautas de la Directiva marco de residuos, dichos residuos pierden la condición de residuos, “fin de la condición de residuos” y pueden ser convertidos en “subproductos” cuando sean utilizados en la agricultura, la silvicultura o en la producción de energía como biomasa y estén cubiertos por otra normativa comunitaria.

En el contexto de la producción vegetal el concepto estricto de residuo agrícola se aplica, bajo denominación de residuos de cosecha, a la fracción o fracciones de un cultivo que no constituyen la cosecha propiamente dicha y a aquella parte de la cosecha que no cumple con los requisitos de calidad mínima para ser comercializada como tal. De forma similar, los restos de poda de los cultivos leñosos deben ser considerados asimismo residuos agrícolas estrictos (Pérez, M.D. et al., 2008).

1.1.1. Situación del sector agrícola en España

El sector agrario en España es un sector estratégico con gran importancia económica, social, territorial y medioambiental. Lo corrobora el hecho de que la mitad de la superficie de la nación se destina a actividades agrícolas o ganaderas, constituyendo la superficie agraria útil de España (SAU) más de 23 millones de hectáreas de las 50,6 millones de hectáreas que posee el país como superficie total. Dentro de esta superficie, 16,7 millones de hectáreas en 2018 quedan incluidas en el uso denominado «tierras de cultivo» (Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2020a). La diversidad climática y edáfica de las distintas zonas del territorio nacional implica agriculturas notablemente diferentes de unas Comunidades Autónomas a otras, con especializaciones productivas muy señaladas, entre las cuales pueden destacarse las siguientes:

⇒ La Cornisa Cantábrica constituye un área predominantemente ganadera, sobre todo orientada a vacuno de leche.

- ⇒ Aunque con predominancia ganadera (intensiva), Cataluña y Madrid tienen sectores agrícolas (vino, aceite, hortalizas y frutas) de notable entidad.
- ⇒ En Andalucía, Región de Murcia, Canarias, Baleares y la Comunidad Valenciana, la actividad agraria tiene una clara y fuerte predominancia agrícola basada, sobre todo, en la hortofruticultura; en Andalucía se asientan, además, el 80% del olivar y más del 90% del algodón españoles.
- ⇒ Castilla-La Mancha y La Rioja tienen también clara orientación agrícola, con peso relativo importante del viñedo.
- ⇒ Castilla y León presentan una elevada especialización cerealista y en cultivos industriales (girasol y remolacha).
- ⇒ La actividad agraria en la Comunidad Foral de Navarra y Extremadura presenta un notable equilibrio entre producciones agrícolas y ganaderas; en ambas Comunidades dentro de las producciones agrícolas destacan los cereales y las frutas.

En cuanto a los cultivos predominantes en las tierras de cultivo, la categoría con mayor superficie son los cultivos herbáceos, con 8,9 millones ha, los cuales son seguidos de los cultivos leñosos, con 4,9 millones ha y los barbechos y otras tierras no ocupadas, con 3,0 millones ha (Informe Anual de Indicadores del MAPA, 2019). Por lo que respecta a la posición de la nación a nivel europeo y mundial, España es el segundo país de la Unión Europea en términos de superficie agrícola, con el 13% de la SAU de la UE y un 13% de la producción comunitaria, ocupando a su vez en 2016 el sexto puesto en la producción mundial en el sector de frutas y hortalizas, que es el más representativo de nuestro país. Tal es su importancia que, con una producción mundial de $1941 \cdot 10^6$ toneladas en el año 2016, Europa produjo en ese mismo año, más de $185 \cdot 10^6$ toneladas (9,6% mundial), dominado por Italia y España, que produjeron $63 \cdot 10^6$ (FAO, 2016; Eurostat, 2017) (Figura 1).

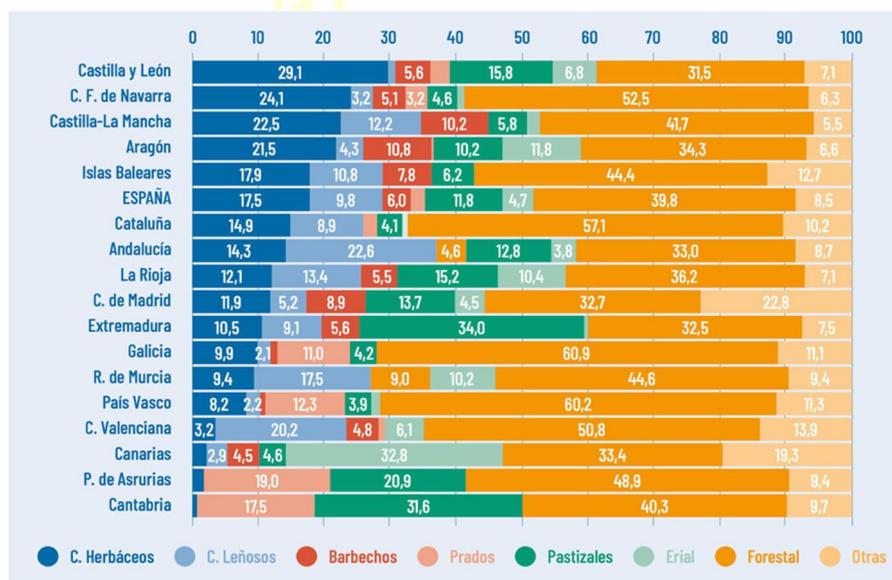


Figura 1. Distribución según grandes grupos de cultivo y ocupación principal. Porcentaje (%) en el total de la superficie de cada C.A, 2018. Comunidades ordenadas por su porcentaje de uso dedicado a C. Herbáceos. Fuente: Informe Anual de Indicadores del MAPA, 2019.

La situación privilegiada del sector agrícola español a nivel europeo se refleja en la figura 2.

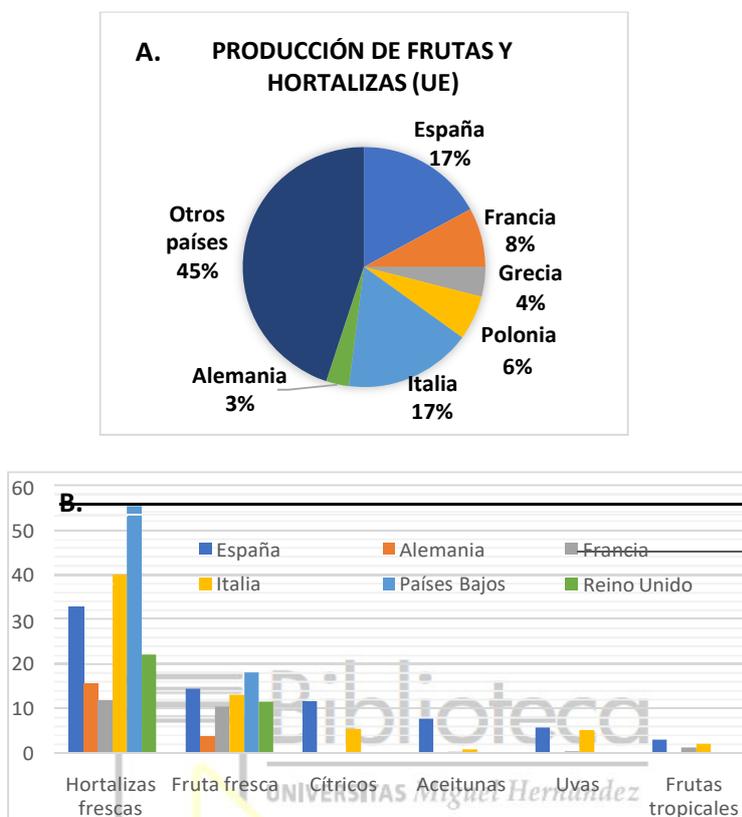


Figura 2 . A) Distribución de la producción de frutas y hortalizas en Europa. (FAO 2016) B) Distribución de otros cultivos en 2016 (Eurostat, 2017).

Estas cifras reflejan la relevancia de la agricultura en España. Otro sector agrícola destacado es el del aceite de oliva, con una participación del 10% en la Producción Vegetal. Las producciones en este sector han aumentado un 66% con respecto a la media del periodo 1990-2000, principalmente debido a las mejoras tecnológicas, colocando a España como primer productor de aceite de oliva en la UE y en el mundo. El sector del vino aporta el 4% de la Producción Vegetal. España es el tercer productor de vino en la UE, y el tercer productor a nivel mundial tras Italia y Francia, siendo el principal país del mundo en superficie de viñedo. La producción media en las cinco últimas campañas es de 42,2 millones de hl, con una producción sometida a gran variabilidad de unas campañas a otras por la fuerte dependencia del cultivo a las condiciones climatológicas (lo mismo que el resto de cultivos agrícolas)(Cabanas, 2021). Como consecuencia, el sector agroalimentario se consolida como uno de los más pujantes de la economía española y la industria agroalimentaria es el primer sector industrial del país. En general, entre el año 2000 y el año 2017, la producción agrícola no ha parado de crecer con crecimiento anual compuesto del 1,6%. Este crecimiento viene caracterizado por un alto grado de diversidad de cultivos, así como por la calidad de éstos, también cabe destacar el alto nivel de los sistemas de protección de sanidad animal y vegetal

alcanzados y un elevado grado de tecnificación tanto en explotaciones agrícolas como ganaderas. La progresiva incorporación de nuevos avances tecnológicos a las prácticas agrícolas ha dado lugar a lo que se conoce como agricultura de precisión que actualmente se desarrolla principalmente en Andalucía y en cultivos como la fresa, el algodón o el arroz. Otros tipos de agricultura como la agricultura de conservación y la ecológica han ido desplazando a la agricultura convencional, que ha disminuido un 23,8% en términos de superficie desde el año 2007, convirtiendo a España con 2.354.916 ha en 2019, en el país con más superficie dedicada a agricultura ecológica de la Unión Europea y cuarta a nivel mundial (figura 3), destacando como productos ecológicos las hortalizas frescas, uva, aceituna, cereales en grano y cítricos entre otros.

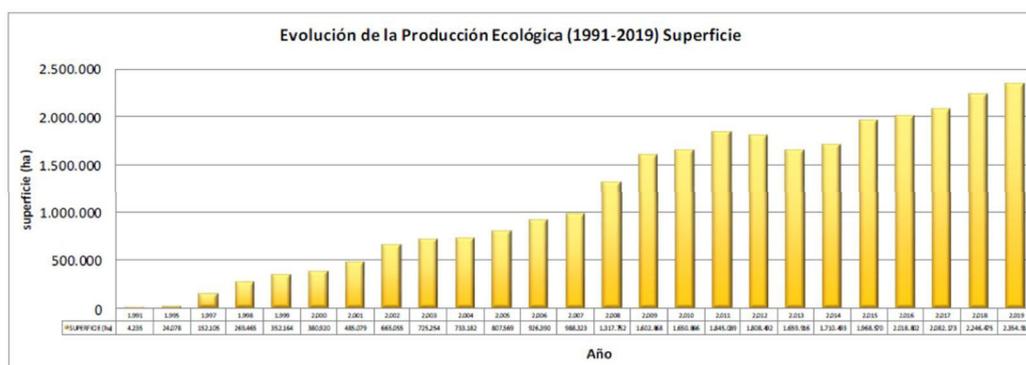


Figura 3. Evolución de la producción ecológica en España 1991-2019 (SEAE, 2020)

1.1.2. Origen de los residuos de poda y jardinería

La definición expuesta para el término “residuo” engloba un intervalo muy amplio y, por tanto, el término de “residuos biodegradables” concuerda más con el objetivo de este trabajo. La ley 22/2011 de residuos, define como Biorresiduo: residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y establecimientos de venta al por menor; así como, residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos.

En cuanto a los Residuos vegetales o Fracción Vegetal (FV) procedentes de las zonas verdes y vegetación privadas y públicas se pueden clasificar (Ministerio Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2020b):

- ◆ Fracción Vegetal en forma de restos vegetales de pequeño tamaño y de tipo no leñoso procedentes de jardinería y poda (ramos de flores mustios, malas hierbas, césped, pequeñas ramas de poda, hojarasca, etc.). Esta fracción vegetal, considerada como similar a la FORS, puede gestionarse también “in situ” o de forma independiente a los restos de comida, según la configuración de los servicios de recogida y los niveles de degeneración.

- Poda: constituida por la Fracción Vegetal en forma de restos vegetales de jardinería y poda de mayor tamaño y de tipo leñoso. Por sus características requiere una gestión específica por cuestiones relacionadas con logística de recogida, el tratamiento y la temporalidad de generación (frecuencia y periodo).

Estos residuos se generan en los trabajos de jardinería y mantenimiento de plantas y vegetación en el balcón, la terraza o el jardín. También se pueden producir en actividades de cultivo particular de alimentos (huertos privados). Se genera en cantidades destacadas en entornos rurales y urbanos donde la configuración urbanística es principalmente horizontal y está formada por viviendas unifamiliares con patios y jardines o terrenos adjuntos.

1.1.3. Características de los residuos vegetales

La biomasa vegetal está compuesta principalmente de hidratos de carbono en forma de compuestos lignocelulósicos o amiláceos y, en menor proporción, proteínas, lípidos y compuestos orgánicos nitrogenados (Figura 4). Para seleccionar el método más adecuado a la hora de tratar cualquier tipo de residuo, es imperativo conocer su etiología, composición y propiedades. En el caso de haber elegido el proceso de compostaje para tal fin, este aspecto es todavía más importante ya que interesa que el residuo posea unas propiedades físicas y una composición adecuada para que los microorganismos que intervienen en el proceso demuestren su efectividad. A este tipo de residuos se les suele utilizar como agente estructurante en las mezclas para ser co-compostadas, como es el caso de este trabajo. Desde el punto de vista energético los residuos agrícolas que interesan son los de alto contenido celulósico: restos de cosecha, poda, ramas, hojas, cortezas ya que poseen mayor poder calorífico (Blázquez, 2003a). La biodegradabilidad de estos materiales es función del contenido relativo en moléculas fácilmente asimilables (azúcares solubles y otras moléculas de bajo peso molecular), de hemicelulosa y celulosa, así como de componentes de degradación más lenta (ceras, lignina y otros polifenoles); por ello, son la principal fuente de carbono y energía para los microorganismos del suelo.

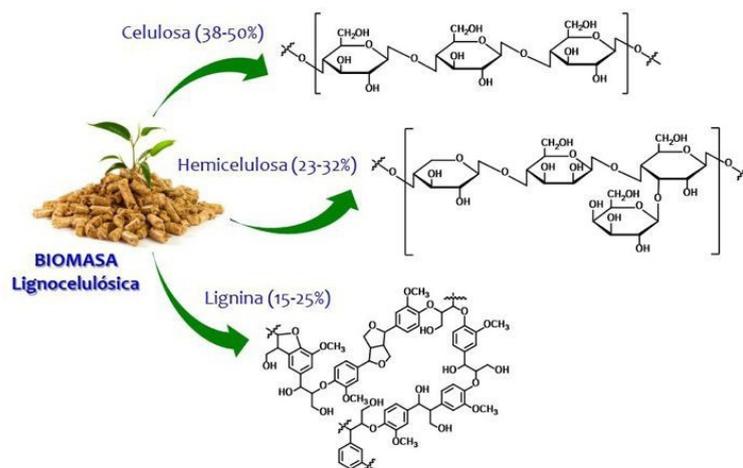


Figura 4. Biopolímeros que componen la biomasa lignocelulósica y los porcentajes comúnmente encontrados en la madera (Chávez-Sifontes, 2019)

La celulosa y la hemicelulosa son biomoléculas de fácil degradación a diferencia de la lignina, material difícilmente biodegradable. La macromolécula de lignina es el producto de la condensación de varias moléculas y el hecho de que su formación no tenga lugar por vía enzimática determina que su estructura sea altamente variable, dependiendo del tipo de planta, de su estado fenológico y de la tasa fotosintética (Leonowicz et al., 1999). Como puede apreciarse en la figura 4 la lignina posee una estructura tridimensional amorfa, que, a diferencia de la celulosa, es un polímero no cristalino. Se constituye por tanto en un complejo aromático insoluble y ramificado de unidades fenilpropano sustituidas, las cuales se unen por enlaces éter o carbono-carbono que forman una extensa red dentro de la pared celular vegetal. Por tanto, la complejidad de este biopolímero le confiere una escasa biodegradabilidad y al ser la lignina un heteropolímero muy recalcitrante, solamente es mineralizado (transformado hasta dióxido de carbono y agua) en forma limitada por algunas bacterias y extensivamente por un grupo de hongos que son los que pertenecen en mayor cantidad al grupo de los basidiomicetes, más conocidos como los hongos de la podredumbre blanca, o white-rotfungus (WRF) como por ejemplo: *Thielavia*, *Presussia* y *Chaetomium*. El término podredumbre blanca hace referencia al aspecto que presenta la madera tras su colonización: la eliminación de la lignina hace que adquiera una tonalidad más blanquecina y un aspecto fibroso. La alta capacidad hidrolítica y distribución de los hongos WRF les proporcionan una elevada funcionalidad para la degradación de la lignina por lo que son considerados organismos lignocelulíticos.

A continuación, se muestra en detalle las características de algunos residuos vegetales, tales como:

RESIDUOS DE CEREALES

El principal residuo de los cultivos cerealísticos es la paja y los rastrojos. Requieren de una adecuada gestión debido a su potencial presencia de plagas y/o compuestos

fitosanitarios. Sus principales características son (Pérez, M.D. et al, 2008):

- Baja humedad (10-15%)
- Alto contenido en carbono (37-47%)
- Bajo contenido en nitrógeno (0,3-1,1%) excepto la paja de maíz y centeno.
- La relación C/N es muy elevada (50- 100) como consecuencia de las dos anteriores.
- Alto contenido en MO (77-85%)
- Contenido en celulosa y hemicelulosa del 30 al 50%; el contenido de lignina varía entre el 1 y el 6% para la paja de centeno, trigo y cebada y del 10 al 25% para la paja de arroz y maíz.

❖ RESIDUOS HORTÍCOLAS

Comprende, entre otros, los residuos que provienen de los cultivos hortícolas comestibles y de las producciones de flor cortada y raíces o tubérculos extensivos (Pérez, M.D. et al, 2008). Sus características principales son (López y Boluda, 2017):

- Alto contenido en humedad ya que se cosechan antes de la senescencia vegetal.
- Generalmente son fácilmente biodegradables: celulosa (10-40%), hemicelulosa (5-15%), escaso contenido en lignina (1-10%).
- Elevado contenido en carbono
- Relación C/N baja (15-30%) debido a la elevada cantidad de nitrógeno.

❖ RESIDUOS DE PODA DE FRUTALES Y FORESTALES

En su mayor parte se componen de material lignocelulósico. Algunas especies resinosa (pinos, encinas, robles, hayas) tienen gomas, taninos y mucílagos. Otras frondosas como las salicáceas (chopo y sauce) apenas contienen estas sustancias. Las características físicas, químicas y biológicas de los restos y subproductos forestales varían mucho con las especies, condiciones de crecimiento, tipo y forma de aprovechamiento, maquinaria empleada y del proceso industrial al que se sometan los árboles y sus componentes (González y González, 1999). Atendiendo a éstos:

- Follaje. Es un residuo muy abundante de poda con alto valor alimenticio. Su producción es muy variable. La humedad en fresco oscila entre 59 y 70%.

- Cortezas. Suelen contener entre 40-50% de humedad con una densidad del orden de 250-350 Kg/m³.
- Serrín. Las partículas oscilan entre 5-10 mm. La humedad en fresco ronda el 40-50%.
- Virutas. Proceden en general de materia seca por lo que su humedad es de 7-15%. Tienen forma plana y curvada con 20-50 mm de longitud y ancho variable lo que influye en la baja densidad, que es de 100Kg/m³ sin comprimir y 250 Kg/m³ al comprimirse.

Se puede realizar una estimación de la materia seca (MS) de los residuos de poda de los principales cultivos leñosos de España y de su rendimiento potencial en humus, a partir de los datos existentes sobre superficie de cultivo y producción de los principales cultivos en España, y teniendo en cuenta la cantidad de residuos que presumiblemente pueden generar (tabla 1).

Tabla 1. Estimación de la materia seca (MS) de los residuos de poda de los principales cultivos leñosos de España y de su rendimiento potencial en humus, en relación con la distribución de superficie y producción de 1999 (Martínez Farré, 2006).

Cultivo	Superficie (ha)	Producción (Tm)	Rendimiento (Tm/ha)	MS (Tm)	Humus (Tm)	Total MS (Tm/ha)	Total humus (Kg/ha)
Olivo	2.200.000	3.394.700	1,5	3.850.066	962.517	1,8	438
Viñedo	1.163.000	5.420.700	4,7	2.326.000	581.500	2,0	500
Almendra	664.000	279.100	0,4	885.323	221.331	1,3	333
Cítricos	283.350	5.820.900	20,5	436.359	109.090	1,5	385
Manzano	50.000	922.200	18,4	150.071	37.518	3,0	750

Los residuos de poda producidos por los principales cultivos leñosos generan entre 1.3 y 3 Tm de Materia seca por hectárea, con un valor húmico potencial de 333 a 750 Kg/ha. Los valores máximos se presentan en el manzano mientras que el almendra da el menor rendimiento.

Las pérdidas de humus por mineralización en los suelos españoles varían entre 200 y 2000 Kg por hectárea y año, con valores medios cercanos o inferiores a 700. Las cifras menores corresponden a suelos con bajo contenido en materia orgánica y débil velocidad de mineralización (zonas áridas, suelos calizos, cultivo en secano, zonas frías, laboreo reducido, etc.) y las más altas a suelos profundos, con alto contenido en materia orgánica y elevada mineralización (zonas cálidas, húmedas, regadío, laboreo frecuente, etc.). Puesto que la mayor parte de la superficie de cultivos en España es en suelo calizo en secano o con limitación hídrica, si se incorporara al suelo el total residuo, el humus generado cubriría en muchos casos las pérdidas por mineralización y en determinadas rotaciones o cultivos sería excedentario.

1.1.4. Producción y destino de los residuos vegetales

En general, se ha estimado que de los 1,6 billones de toneladas de materia orgánica exógena que se producen cada año en la UE, 415 millones corresponden a residuos agrícolas. Otros residuos derivados de frutas y vegetales procedentes de zonas de huerta o invernaderos, además de aquellos resultantes de la retirada de los mercados con objeto de mantener los precios, como la llamada “pica” que se realiza en los empaquetados de plátanos canarios, son también una fuente importante que genera residuos agrícolas, aunque las cantidades totales de estos residuos son muy difíciles de estimar debido a factores que varían de un año a otro como son cambios en las condiciones climáticas, comercio mundial, etc. (Dupuis, I., 2008). En España, los residuos originados en la poda de árboles frutales representan algo más del 58% del total de la producción de residuos con 15'8 millones de toneladas anuales. Destacan Castilla-La Mancha con el 36% y Andalucía con el 20%. De éstos, destaca la vid y el olivo con el 83% del total de este tipo de residuos. Solamente Ciudad Real y Toledo producen el 35% de los residuos de la vid, y Jaén y Córdoba concentran el 35% de los residuos del olivo. En la siguiente tabla se muestran datos elaborados de producción de residuos a partir de la producción de cultivos, generados en la UE y en España, correspondientes a los años 1999 y 2000 (López y Boluda, 2008) (tabla 2).

Tabla 2. Producción de cultivos y estimación de cantidad de residuos agrícolas en UE y España (López y Boluda, 2008). *RP/RC=residuo producido/producción de cultivo (Unidades en Toneladas anuales).

Cultivo		Producción de cultivo en UE	Residuo producido en UE	Producción cultivo en España	Residuo producido en España	Relación RP/PC*	Tipo de residuo
Cereales	Trigo	105.505.068	131.881.335	5.083.800	9.689.600	1,58	Paja
	Cebada	52.016.692	56.351.416	7.434.300	9.319.800	1,17	Paja
	Maíz	38.694.457	45.949.668	3.768.600	4.475.213	1,19	Paja
	Avena	6.693.451	8.518.938	530.800	675.564	1,27	Paja
	Centeno	5.636.935	7.686.730	219.700	299.591	1,36	Paja
Frutícolas	Vid	27.075.180	-	5.420.700	2.326.000	0,43	Poda
	Cítricos	10.602.032	-	5.820.900	436.359	0,07	Poda
	Almendro	455.821	-	279.100	885.323	3,17	Poda
Oleaginosas	Colza	9.174.998	17.039.282	64.300	119.414	1,86	Paja
	Olivo	4.358.543	-	3.394.700	3.850.066	1,13	Poda
	Girasol	3.294.520	6.589.040	579.300	1.158.600	2,00	Paja
	Algodón	1.597.000	-	412.000	-	-	Tallos
Otros	Praderas	170.240.200	-	9.700.000	-	-	Tallo/hojas
	Alfalfa	56.875.913	-	12.213.900	-	-	Tallo/hojas
	Gramíneas	47.553.492	-	7.445.200	-	2,50	Tallo/hojas

La mayor cantidad de residuos corresponde al cultivo de cereales, que presentan la mayor relación residuo producido/producción de cultivo, siendo esta relación para los frutales bastante inferior por lo que éstos, a pesar de ser más importantes en producción están en segundo lugar respecto al volumen de residuos generados. También son importantes los residuos de los cultivos oleaginosos derivados de la colza en Europa y del olivar en España. Por último, hay que señalar que los cultivos que generan más cantidad de residuos en relación a la producción obtenida son: el almendro, las oleaginosas y los cereales en general. En cuanto a la biomasa forestal producida en España, ésta se sitúa en unos 18 Mt/año frente a la biomasa procedente de residuos agrícolas que es de 35 MT/año.

Respecto a los residuos de poda y jardinería urbana hay muy pocos datos sobre su producción debido a que se recogen junto con los residuos de cocina y alimentarios. De esta manera, la tasa de generación de estos residuos se engloba dentro de la generación de biorresiduos domésticos. Además, la estimación de la producción de estos residuos es complicada porque depende de la disposición, densidad y tipología del paisajismo urbano de cada ciudad.

A continuación, se presentan la evolución del volumen de residuos vegetales gestionados en España desde el año 2010 al 2018 (figura 5) (INE 2010-2018). En esta evolución se observa cómo la gestión de residuos vegetales se ha reducido drásticamente desde el año 2010 al 2012, aumentando su gestión a partir del 2013 para mantenerse en valores alrededor de 700.000 toneladas durante los años 2014-2015. En el año 2017, la gestión de estos residuos se reduce a 572.650 toneladas, siendo el año 2018 donde se observa el mayor volumen de residuos vegetales gestionados de toda la serie histórica presentada (968.553 toneladas).



Figura 5. Volumen de residuos vegetales gestionados en España de 2010 a 2018 (INE, 2010-2018)

A continuación, se muestra en detalle el destino de algunos residuos vegetales, tales como:

◆ Residuos de cereales

La mayor parte de la paja producida se destina a la ganadería, donde se utiliza para la alimentación o como lecho. También se utilizan para la preparación de compost mediante co-compostaje de otros residuos, método que se ha utilizado en el presente trabajo. Antes de establecerse las medidas contra incendios en los ámbitos rurales, la

quemado de la paja junto con los rastrojos en el campo era un procedimiento bastante frecuente en el campo español. Aunque actualmente su incorporación al suelo se considera un método aceptable dentro de una agricultura biológica debido al aporte de materia orgánica, aunque su alta relación C/N puede provocar deficiencias de nitrógeno para los cultivos, por lo que se aconseja su incorporación conjunta con fuente de nitrógeno (de 6 a 12 kg por Tm de paja). Antes de su incorporación al suelo la paja debe ser picada o troceada mecánicamente, con lo que se favorecerá su posterior ataque microbiano y se facilitarán las labores del siguiente cultivo. Otros usos potenciales de los residuos de cereales tienen lugar mediante diversos procesos físico-químicos o de biotransformación con los que se consigue obtener productos de interés industrial (etanol, antibióticos, metano, vitaminas etc.). En este punto se asoma la controversia acerca del argumento en contra del uso masivo de biodiésel que alude a la actual crisis de precios provocada al tener que competir ciertas materias primas con dos usos alternativos: el alimentario por un lado y, por otro, su uso como combustible. En cualquier caso, el consumo y la producción de biodiesel en España está muy lejos de lo que se produce a nivel europeo y mundial (Herguedas, A.I., 2012).

Otros posibles usos de la paja, aunque minoritarios son los siguientes: obtención de papel paja, obtención de glucosa y furfural, componente en la fabricación de tableros, aislante y material de relleno de materiales de construcción, cultivo de champiñón, empleo como combustible, obtención de estiércol artificial, agente de aireación y/o fuente de carbono para el compostaje de residuos pastosos o excesivamente ricos en nitrógeno (Martínez, 2006).

• Residuos de poda de arbustos, árboles y biomasa forestal

Los residuos de poda proceden del mantenimiento de parques, jardines, masas forestales, cuando se hacen podas, limpiezas, etc., y también de residuos resultantes de cortar los troncos de los árboles para hacer productos de madera, que es necesario retirar puesto que constituyen un riesgo para la propagación de plagas e incendios. Han sido, durante varios siglos, la fuente energética más importante para uso doméstico y, posteriormente, industrial. El bajo precio y la comodidad de manejo de otras fuentes de energía como el gas butano, han ido transformando esta fuente de energía en residuos forestales. Los árboles y, en general, el monte, son una fuente de riqueza de la que se obtiene una gran cantidad de residuos en forma de arbustos, ramas, cortezas, serrín, etc. Estos residuos han hecho daño al monte en forma de plagas y sobre todo han sido una de las causas más importantes de los incendios forestales. Gran parte de estos residuos son quemados y proporción menor se utiliza como combustible (troncos o ramas gruesas de frutales y árboles) o para el asado en barbacoa (sarmientos de la vid). La aplicación agrícola de estos materiales hace unos años era muy poco frecuente, pero se ha ido implantando paulatinamente en las prácticas de manejo agrícola. Es necesario previamente un tratamiento mecánico (troceado o picado) y, si es necesario, desfibrado. Este último tratamiento es especialmente interesante en troncos y ramas de mediano y gran calibre. Atendiendo a la elevada relación C/N de estos residuos es preciso aportar una fuente nitrogenada, ya sea de naturaleza orgánica (estiércol, abonos orgánicos, purines, abonado en

verde) o inorgánica (abonos amoniacales o ureicos), que aceleren su descomposición. El residuo triturado puede dejarse sobre el suelo a modo de mulching ó proceder a su incorporación superficial en el suelo, mediante la realización de la labor adecuada (Martínez, 2006).

◆ Residuos hortícolas, plataneras, papayos y piña tropical.

En las explotaciones muy intensivas, y especialmente en cultivo protegido, los residuos de cosecha deben ser retirados del suelo antes de iniciar el cultivo siguiente, al no existir tiempo suficiente para evitar los riesgos fitosanitarios. Luego se amontonan al aire libre para facilitar su desecación, disminuyendo así su volumen. Posteriormente estos residuos pueden tener cuatro destinos principales: transporte e incorporación al suelo de otras fincas menos intensivas; quema “in situ”; deposición en vertederos o traslado a plantas de compostaje para la fabricación de compost (figura 6).



Figura 6. Manejo de restos de platanera y papayos no comercializables para compostaje en las dependencias de la planta de compostaje de Terracan Compost (fotografía propia).

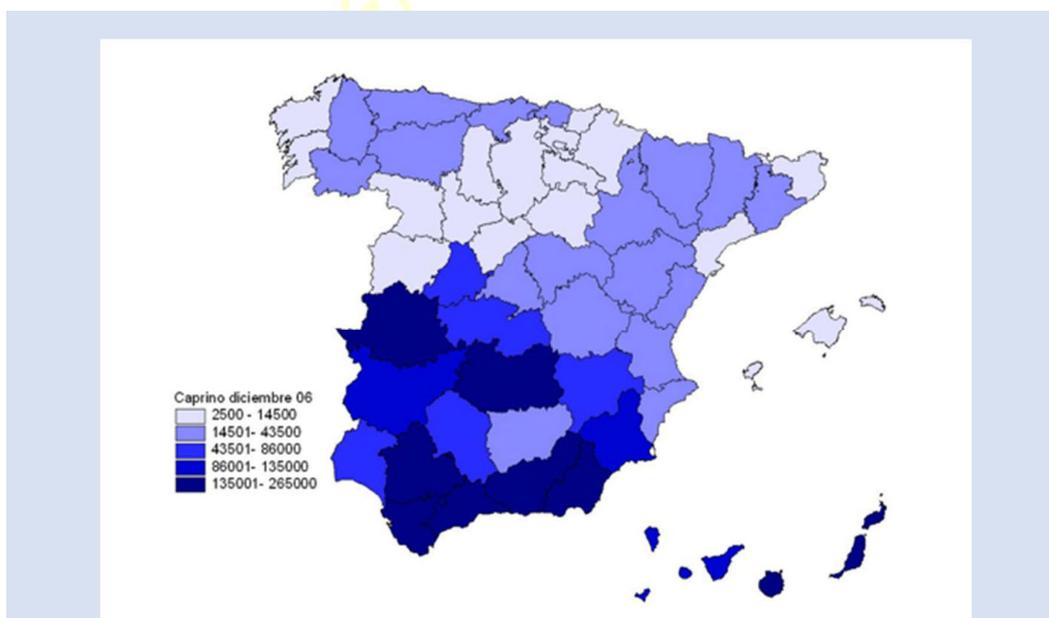
1.2. RESIDUOS GANADEROS

1.2.1. Situación del sector ganadero en España

La actividad ganadera, especialmente la realizada en explotaciones de carácter intensivo, genera gran cantidad de deyecciones, que constituyen un recurso valioso como enmienda y fertilizante en terrenos agrícolas. Sin embargo, en muchos casos, su

exceso las convierte en residuos y su mala gestión en el problema ambiental más importante originado por este tipo de explotaciones. Se originan además otros residuos y subproductos (subproductos animales, residuos sanitarios, etc.), cuyo aprovechamiento y/o eliminación debe ser gestionada adecuadamente. Este apartado describe la evolución reciente de las principales producciones ganaderas españolas. En primer término, para el estudio de la cabaña ganadera, la fuente estadística es el Anuario de Estadística del MAPA, cuyo último dato disponible es de 2018 (Anuario de Estadística, 2019). Se toma, por tanto, como periodo de referencia para el estudio de la evolución del número de cabezas de ganado, la media de los años 2013 a 2017 según el documento elaborado por el MAGRAMA "180 datos de MAGRAMA". En relación a las cabañas ganaderas, en España existen más de 27,9 millones de cabezas de ganado porcino en el periodo 2013-17, aportando un 14% de la Producción de la Rama Agraria y un 37% de la Producción Ganadera. La cabaña de bovino se encuentra formada por 6,5 millones de cabezas, siendo un 5,5% superior a la media. La cabaña de vacas de leche contaba con 818.710 vacas de ordeño de media en 2013-2017, mientras que en 2018 han alcanzado las 739.757 vacas, lo que supone un descenso del 9,6%. Los efectivos ganaderos de ovino y caprino, con 15,8 millones de cabezas de ovino y 2,7 millones de caprino respectivamente, han tenido distinta evolución en el último año. Por último, la cabaña de aves ponedoras supera los 48 millones de ponedoras, cifra un 2,5% superior a la alcanzada de media (46,9 millones de ponedoras).

La Comunidad Autónoma de Castilla y León ocupa el primer lugar con la generación del 17% del estiércol, seguido de Cataluña (15%) y Aragón (12%). Las provincias con mayor producción de estiércol son Huesca (5,8 Mt), Lérida (4,2) y La Coruña (3,9). En la siguiente figura (figura 7) se muestra la carga productiva de ganado caprino y vacuno en las diferentes provincias españolas.



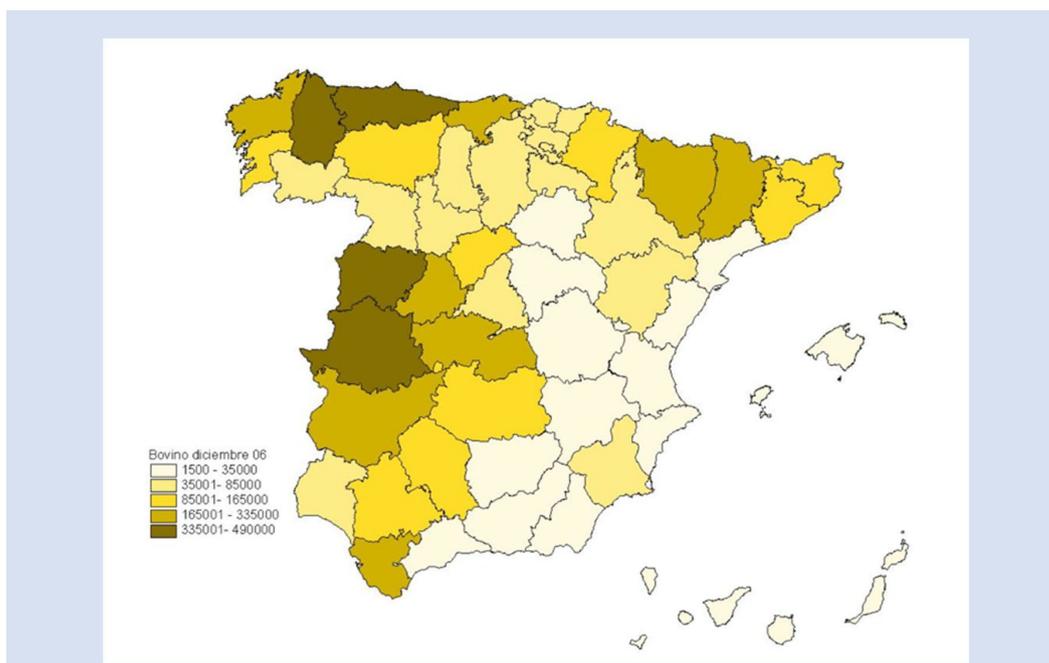


Figura 7. Distribución provincial del ganado en España. A) Ganado caprino B) Ganado bovino. (Fuente: Encuestas ganaderas 2006. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación)

A la luz de este mapa y del análisis provincial por censos se observa que las provincias españolas con mayor relevancia censal de ganado caprino son Almería, Las Palmas, Granada, Sevilla, Málaga, Ciudad Real y Cádiz. Las provincias españolas con mayor censo de ganado bovino son Salamanca, Cáceres, Lugo y el Principado de Asturias, como comunidad autónoma uniprovincial, presentando la cornisa oriental mediterránea, junto con las islas Baleares y Canarias menores censos de ganado vacuno. En la tabla 3 se expone la producción específica por comunidad autónoma de las diferentes especies.

La evolución de la ganadería en la EU(15), por número de animales, no ha variado significativamente desde 1995, con ligeros aumentos en las aves a partir de 2000, descendiendo el número de animales de bovino. A nivel mundial el 80% de los animales de producción ganadera lo componen el sector avícola, seguido por el bovino (6,6%), ovino (5%), porcino (4,7%) y el caprino (3,8%). La aportación de Europa (EU15) en el sector bovino es del 5,2% donde España tan sólo aporta el 0,5%; en el sector ovino la EU15 aporta el 10% del mundial; en el sector caprino Europa sólo supone el 1,5% mundial, del que más del 25% corresponde a España; en el sector porcino la UE(15) supone más del 12% del porcino mundial y, por último, en el sector avícola EU(15) aporta el 6,4% del mundial (0,8 %España) (Bernal, M.P. et al.,2007). Estos datos reflejan que en los sectores porcino y caprino es donde España cobra relevancia. En la tabla 4 se presentan estos valores a nivel mundial, europeo y nacional.

Tabla 3. Censos ganaderos por categoría y comunidad autónoma, 2017 (en cabezas de ganado)
Fuente: Dirección General de Sanidad de la Producción Agraria, Sitran (2017)

	Vacuno		Porcino		Ovino		Caprino		Equino	Abejas
	Total	Vacas	Total	Cerdas	Total	Hembras	Total	Hembras		
Andalucía	534.085	295.731	2.491.020	743.394	2.414.168	1.833.304	1.106.076	859.091	210.967	611.535
Aragón	369.966	65.087	4.883.182	734.648	1.743.304	1.286.803	57.521	40.537	23.545	120.883
Canarias	19.694	8.969	48.768	17.240	54.618	40.552	216.026	166.046	5.405	38.705
Cantabria	271.187	167.325	2.374	452	46.988	38.746	23.406	18.381	26.245	13.777
C-La Mancha	489.005	142.388	3.637.549	1.382.938	2.659.137	2.033.346	447.185	364.961	25.719	186.808
C. y León	1.415.071	689.886	4.026.281	1.084.690	3.067.264	2.437.913	155.441	119.317	66.037	446.277
Cataluña	715.299	169.680	7.293.557	2.041.517	563.179	363.985	75.845	57.879	32.661	113.722
C. Madrid	114.163	49.304	18.035	6.326	105.287	83.538	35.866	27.869	20.912	13.043
C.F. Navarra	123.808	57.790	773.117	257.749	492.344	439.580	13.073	10.622	11.988	14.724
C. Valenciana	54.665	20.290	1.321.130	268.373	289.327	226.179	76.869	61.413	21.796	364.546
Extremadura	876.844	498.656	1.573.648	299.962	3.700.180	2.683.890	308.494	241.319	40.780	634.983
Galicia	942.153	553.925	1.281.754	278.588	223.847	158.139	56.363	41.117	41.373	166.024
La Rioja	42.430	19.049	141.331	18.797	117.170	90.879	14.337	11.611	4.980	21.564
I. Balears	28.466	14.028	51.910	12.891	285.969	202.814	15.052	9.837	14.656	10.435
País Vasco	137.502	75.770	25.446	2.847	264.571	225.560	28.691	23.195	32.993	24.271
P. Asturias	388.644	233.329	7.050	919	59.528	46.586	36.243	28.391	40.043	43.228
R. Murcia	100.798	11.052	2.126.021	225.325	686.062	403.710	263.315	171.997	8.625	112.938
Total	6.623.780	3.072.259	29.702.173	7.376.656	16.772.943	12.595.524	2.929.803	2.253.583	628.725	2.937.463

Tabla 4 Distribución de la cabaña ganadera mundial, europeo y nacional por tipos de animales ($\cdot 10^3$ animales)
Fuente: MAPA, 2005; FAO, 2004

	Bovino	Ovino	Caprino	Porcino	Avícola
Mundial	1.331.549	1.024.710	765.311	950.949	16.147.000
EU(15)	78.830	100.973	11.813	121.522	1.032.157
Otros Europa	26.230	39.909	9.013	39.657	472.079
España	6.478	23.813	3.047	23.517	128.000

La baja producción nacional del ganado vacuno se debe a una limitación en cantidad y calidad de los recursos pastables, debido principalmente a un régimen de lluvias escaso, razón por lo que la máxima producción en extensivo se concentra en la cornisa cantábrica. En definitiva, la ganadería intensiva es el “modus operandi” en este país, lo que deriva en problemas ambientales relacionados con la emisión de GEI y la acumulación de estiércol. En efecto, la acumulación de estiércol en áreas determinadas de ganadería intensiva genera problemas como la emisión de malos olores, lixiviación a aguas subterráneas y superficiales, contaminación del suelo por aplicación de dosis excesivas (Burton et al., 2003), e incluso riesgo de enfermedades para los animales y para la salud humana. En respuesta a los problemas surgidos en el manejo del estiércol, se intenta mejorar las prácticas agrícolas mediante la introducción de guías y normas en la UE. Cabe señalar que la problemática medioambiental de la ganadería intensiva en general y la porcicultura en particular está incidiendo, en algunos países de la Unión Europea, sobre la producción actual y el desarrollo futuro del sector. Especial mención merece el actual eje 3 del Plan de

Acción Europeo para la Producción Ecológica: 'L@s productor@s ecológicas liderando con el ejemplo: mejorar la contribución de la producción ecológica a la sostenibilidad' donde uno de los puntos más importantes a resolver es MEJORAR EL BIENESTAR ANIMAL.

1.2.2. Características de los estiércoles ganaderos

A continuación, se muestra en detalle las características de los principales estiércoles que se generan:

- ❖ Estiércol sólido o semilíquido o pastoso: el sólido contiene una proporción menor del 85% de agua y está formado por una mezcla de excrementos de animales y de cama más o menos descompuesta, en la proporción de una parte de cama por dos de excrementos; el estiércol semilíquido o pastoso contiene también un 85% de agua aproximado pero la cantidad de cama es más escasa que en los estiércoles sólidos (Thibaudeau, 1997).
- ❖ Purín: constituido por la parte líquida que fluye de la pila de estiércol. Están formados por un material heterogéneo de color oscuro constituido por las deyecciones sólidas y líquidas, restos de alimentos del ganado y agua procedente del lavado de los establos que se encuentra en fosas, a las que se une el agua de lluvia si estas son abiertas (Bertrand, 1993). Coppenet (1974) establece además, que las deyecciones sólidas están formadas por fracciones no digeridas de alimentos junto con constituyentes de origen interno, como jugos digestivos, células epiteliales y microorganismos y los productos de su actividad.
- ❖ El estiércol avícola y en particular la gallinaza es un producto sólido resultante de la fermentación aerobia de los excrementos acumulados de los pollos de engorde o gallinas ponedoras, mezclados con desperdicios de alimento y plumas y, en muchas ocasiones con un material orgánico, de naturaleza lignocelulósica, que puede ser paja, serrín, virutas de madera, cáscara de arroz, etc. Se trata de un fertilizante orgánico de alto contenido en nutrientes y bajo grado de humedad (Stephenson et al. 1990). Su composición, aunque variable, lo convierte en una fuente de materia orgánica y de macronutrientes esenciales para el suelo (N, P, K, Ca, Mg) y oligoelementos. En la gallinaza el contenido en sales solubles (cloruros, sulfuros, etc.), medido por su conductividad eléctrica, es elevado (Beloso 1991; Carballas 1996; Gordillo y Cabrera 1997a, El-Shakweer et al. 1998). La población microbiana en este tipo de estiércol es elevada, siendo beneficiosa para el suelo porque aumenta considerablemente los enzimas y metabolitos microbianos (Díaz-Burgos et al. 1993), pero también constituye un foco de infecciones y dispersión de patógenos, por lo que un tratamiento previo de acondicionamiento evitaría este problema (Thambirajah et al. 1995; Edwards et al. 1995; Cooperband & Middleton 1996).

1.2.3. Producción y destino de los estiércoles ganaderos

El principal destino de los estiércoles es su aplicación en terrenos agrícolas como fertilizante durante la primavera y el otoño, contribuyendo de esta manera al ahorro en fertilizantes minerales y por tanto al desarrollo de una agricultura sostenible. Sin embargo, existen otros destinos posibles: como fuente de combustible (Jenner, 1997), para la producción de energía mediante incineración o digestión anaerobia (Martin & Lefcort, 2002), como alimento para la cría de peces o cultivo de algas (Jenner, 1997), o como alimento del ganado, un destino este último que, si bien se utiliza cada vez más, aún sigue en fase de estudio e investigación en diferentes países del mundo (Kwak & Kang, 2006; Negesse et al., 2007). La mejor opción de valorización para los estiércoles es el compostaje. Mediante este proceso se obtiene un material orgánico homogéneo y estable, que puede aplicarse de forma beneficiosa al suelo, libre de patógenos y con menos volumen que permite un menor coste de transporte (Solé, F. et al., 2004).

1.3. . COMPOSTAJE

1.3.1. Herramienta para la mitigación del cambio climático

El cambio climático y la degradación del medio ambiente son una amenaza existencial a la que se enfrentan Europa y el resto del mundo. La agricultura contribuye al cambio climático, se ve afectada por él, y además tiene la capacidad de mitigarlo. No ha de olvidarse que los residuos generados en una economía pueden representar una enorme pérdida de recursos tanto en forma de materiales como de energía. Además, la gestión y la eliminación de los residuos pueden tener un impacto medioambiental importante. Los vertederos ocupan terreno y pueden contaminar el aire, el agua y el suelo, mientras que la incineración puede dar lugar a emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos. La mayor parte de las emisiones generadas por la agricultura están relacionadas con prácticas en el ámbito agrario, como la deforestación, el agotamiento de los suelos agrícolas por una sobre explotación y excesivo laboreo del suelo, cambio de prados, manejo inadecuado de turberas y zonas húmedas; mientras que otras prácticas, por el contrario, son susceptibles de almacenar carbono, tanto en los suelos como en la biomasa. Los suelos mundiales contienen de 2 a 3 veces más carbono que la atmósfera. Sin embargo, la materia orgánica del suelo (MOS) puede disminuir debido a una combinación de factores que van desde una reducción en los insumos hasta un aumento en la tasa de alteración del suelo. La MOS se descompone más rápidamente a temperaturas más altas, por lo que los suelos en climas más cálidos, como son los de la cuenca mediterránea y las islas Canarias, tienden a contener menos materia orgánica que aquellos en condiciones más frías, estableciéndose en éstos valores medios de 1,5 a 2 % de materia orgánica y en muchos casos con proporciones inferiores. Esta disminución de la MOS afecta a: 1. La estructura del suelo 2. La estabilidad de los agregados 3. La retención de agua 4. La

obtención de nutrientes vegetales y 5. la biodiversidad del suelo (figura 8). La pérdida de biodiversidad del suelo (la reducción de la diversidad de organismos que viven en el suelo) afecta la a red de actividad biológica en el suelo, lo que a su vez reduce la capacidad del suelo para proporcionar servicios ecosistémicos. Muchas funciones fundamentales como la liberación de nutrientes de la MOS, el secuestro de carbono, la formación y el mantenimiento de la estructura del suelo y la contribución a la entrada, el almacenamiento y la transferencia de agua del suelo, están por tanto amenazadas. Esto conlleva a la degradación del suelo y sus posteriores consecuencias: erosión, contaminación, salinización y sellado, que amenazan la biodiversidad al comprometer o destruir el hábitat de la flora y fauna del suelo. A tenor de los datos aportados por los diferentes estudios analizados, es posible constatar que los suelos de uso agrícola son los que más cantidad de Carbono Orgánico han perdido históricamente y que, por tanto, poseen un gran potencial para secuestrar el Carbono atmosférico. Todo dependerá de la implantación y puesta en práctica de sistemas de manejo que incrementen la capacidad sumidero del suelo, contribuyendo así, a la mitigación de los impactos del cambio climático y a la sostenibilidad de los ecosistemas agrarios. Por tanto, la restauración de las tierras agrícolas degradadas y el aumento de la tasa del carbono en el suelo juegan un papel importante en el tratamiento del triple desafío que constituyen la seguridad alimentaria, la adaptación de los sistemas alimentarios y de las personas al cambio climático, y la mitigación de las emisiones producidas por los humanos.

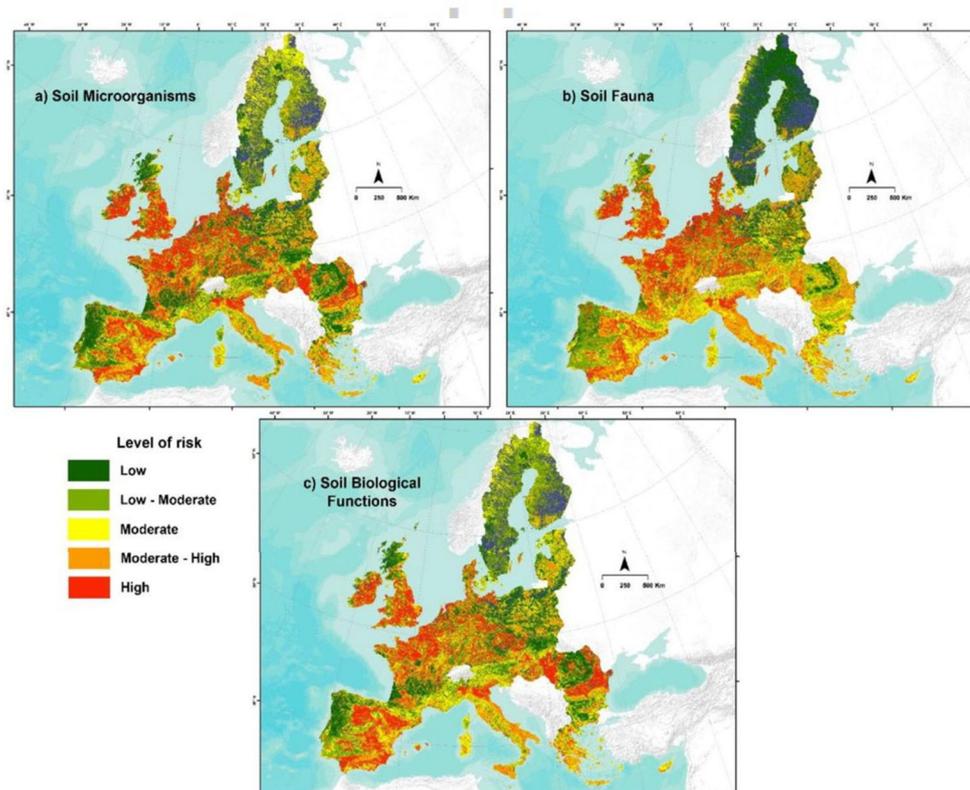


Figura 8. Distribución de las amenazas potenciales para (a) los microorganismos del suelo, (b) la fauna del suelo y (c) las funciones biológicas del suelo previstas para 27 países europeos. (Comisión de las Comunidades Europeas, 2001).

En este marco se crea la Iniciativa Internacional “4 por 1000” lanzada por Francia durante el año 2015 en la cumbre de París (COP21): “Suelos para la seguridad alimentaria y el clima”. La iniciativa busca mostrar que la agricultura, especialmente los suelos agrícolas, pueden desempeñar un papel determinante para la seguridad media global a un máximo de 1,5 o 2°C. En esta Iniciativa “4 por 1000” se refleja un serio compromiso respecto a la seguridad alimentaria y el cambio climático. Con el crecimiento anual de un 4 por 1000 (0,4%) del carbono orgánico del suelo (COS), se busca demostrar que incluso un pequeño incremento en el almacenamiento de carbono en los suelos es crucial para mejorar la fertilidad de los mismos y la producción agrícola, y contribuir así a conseguir el objetivo a largo plazo marcado en el Acuerdo de París, de limitar el incremento de la temperatura para hacer una transición hacia una agricultura resiliente mediante una gestión del suelo sostenible que genere empleos, beneficios y ganancias, y que asegure el desarrollo sostenible (Iniciativa 4 por 1000, 2020). La protección de los suelos, como ya se ha indicado anteriormente, debe reconocer los efectos de diferentes prácticas agrícolas (rotación de cultivos, aprovechamiento de los residuos de cosechas y residuos orgánicos de distintos orígenes, siembra directa, acolchado, aplicación de compost de calidad, etc.).

La European Conservation Agriculture Federation sugiere que en veinte años de cultivo intensivo del suelo se puede perder hasta un 50% del contenido en MOS si no se realizan aportaciones de enmiendas orgánicas de calidad (ECAAF, 2020). El compostaje, que imita la transformación de la MOS en la naturaleza, puede proveer a los suelos de una buena fuente de materia orgánica transformable en humus. La Directiva 1999/31/CE relativa al vertido de residuos, así como el Real Decreto 1481/2001 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, que traspone esta directiva a la legislación española, tienen como objetivo la reducción de la producción de gas metano de vertedero, a fin de contrarrestar el calentamiento global, al tiempo que se fomenta la recuperación, en forma de materia o de energía, de los recursos contenidos en los residuos. Según estas normas, únicamente deberían destinarse al vertido los residuos que no puedan ser reciclados y no tengan ningún valor adicional, así como los residuos que resten después de la recuperación de materiales, productos de conversión o energía. Las tres opciones comunes de valorización alternativas al vertido incluyen los tratamientos biológicos (compostaje y biometanización) y la incineración con recuperación de energía. Según Bidlingmaier (2006), el balance global del compostaje, incluyendo la aplicación del compost en el suelo, ofrece un beneficio de gases de efecto invernadero (GEI) de 0,1 t CO₂ equiv/t de compost producido. La aplicación al suelo del compost se puede considerar, por lo tanto, un sumidero temporal de CO₂, mejorando netamente el balance de GEI de esta opción de tratamiento de residuos. La digestión anaerobia con valorización energética y la aplicación al suelo del digestato son también interesantes en la reducción de GEI. Pero el compost también puede ser considerado como un “alimento” para la cadena trófica del suelo, como una “siembra” promotora de la actividad biológica de los microorganismos del suelo, como un sustrato con propiedades “control de enfermedades” de las plantas cultivadas. En suma, el compost puede constituir un excelente factor de producción para los agroecosistemas y un excelente factor de protección y conservación de los suelos (Fernández, R.M., et al., 2004).

1.3.2. Definición y etapas del proceso

Una definición actualizada y aceptada del proceso de compostaje es la siguiente: “Descomposición biológica y estabilización de un sustrato orgánico, bajo condiciones que permitan el desarrollo de temperaturas en el rango termófilo como resultado del proceso biológico aerobio exotérmico, para producir un producto final estable, libre de patógenos y semillas, y que pueda ser aplicado al suelo de forma beneficiosa” (Flotats et al., 2008). Este producto final estable y beneficioso para el suelo, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos, recibe el nombre de compost. Los objetivos generales del compostaje son: a) reducir el volumen original de los residuos; las pérdidas de MO pueden alcanzar el 30%, afectan principalmente a sustancias ricas en C y son más acusadas en la primera fase de fermentación; b) transformar la MO biodegradable en un producto biológicamente estable (compost), que puede ser usado como enmienda de suelos y como sustrato de plantas; c) retener el máximo contenido de nutrientes (N, P, K), y d) destruir patógenos, huevos de insectos, semillas de malas hierbas, etc. Estrictamente hablando, el compostaje es un proceso aerobio, pues los microorganismos responsables de la transformación de la MO necesitan oxígeno para su actividad metabólica. Sin embargo, es posible también realizar un tratamiento biológico anaerobio de la MO; en este proceso, denominado biometanización, se genera un biogás, constituido mayoritariamente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), que puede ser utilizado para obtención de energía, y por otra parte, se obtiene un lodo o digestato, que puede ser sometido a un posterior tratamiento aeróbico que conduce a la obtención de compost. Los sustratos utilizados provienen, en gran medida, de residuos vegetales y animales, los cuales presentan como principales componentes, carbohidratos (celulosa), lípidos y lignina y proteínas (presentes en los residuos animales especialmente). La capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica depende de su capacidad para producir enzimas necesarias para la degradación del sustrato. Los compuestos orgánicos se degradan a moléculas más pequeñas que pueden ser asimiladas por las células microbianas. Los microorganismos requieren de una fuente de carbono, macronutrientes como nitrógeno y fósforo y algunos elementos traza para su crecimiento.

En el proceso de compostaje se conocen tradicionalmente 4 fases: fase mesófila (10-42°C), fase termófila (45-70°C), fase de enfriamiento o segunda fase mesófila, y fase de maduración (Moreno y Moral, 2008) tal y como se observa en la figura 6.

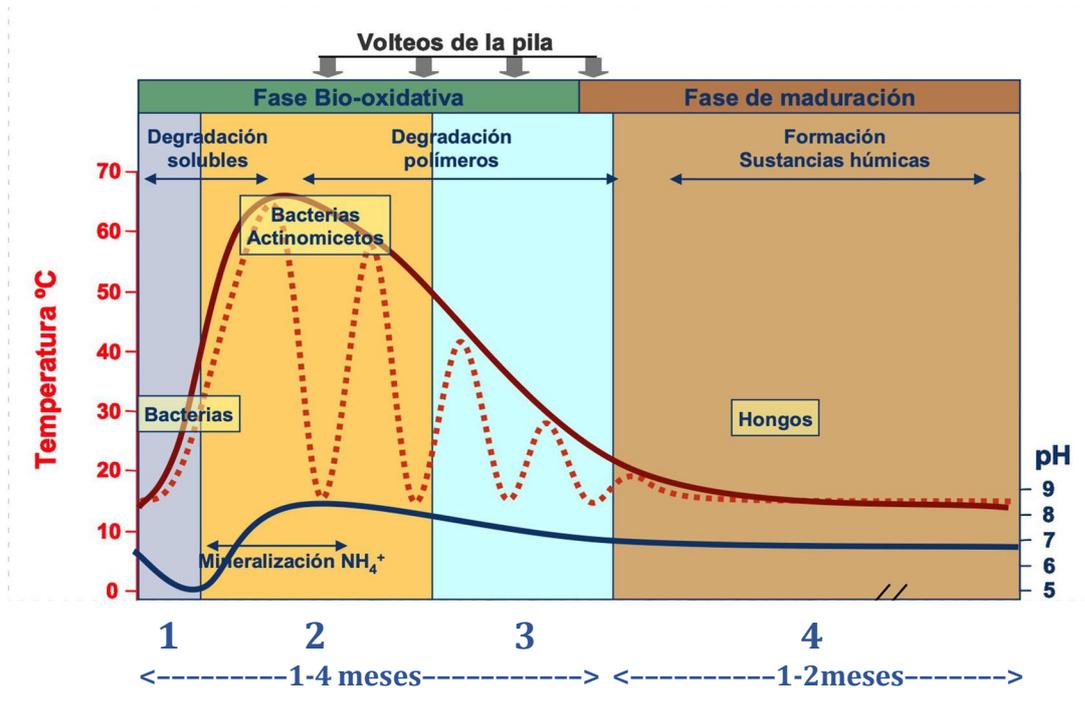


Figura 9. Etapas del proceso de compostaje y sus principales características: variaciones térmicas, pH, poblaciones microbianas predominantes y componentes usados. 1. Fase mesófila, 2. Fase termófila, 3. Fase de enfriamiento, 4. Fase de maduración (Moreno y Mormeneo, 2008).

Las tres primeras fases están englobadas en una 1ª fase general llamada Fase bio-oxidativa donde predomina la mineralización de la materia orgánica y en la última fase (Fase de maduración) predomina la humificación de la materia orgánica.

Fase Bio-oxidativa. – En esta fase intervienen diferentes poblaciones de bacterias, actinomicetos y hongos, que descomponen los constituyentes de la materia orgánica (hidratos de carbono, proteínas y lípidos). Estos microorganismos establecen relaciones de sinergia o de competencia por el sustrato. En medio aerobio las reacciones son exotérmicas por lo que se produce un aumento de temperatura de la masa en descomposición con el consiguiente desprendimiento de calor, llegando a alcanzar temperaturas de 70°C rápidamente donde sólo sobreviven los microorganismos termófilos. Si este aumento de temperatura se mantiene el tiempo suficiente se consigue la higienización del material ya que se destruyen semillas de adventicias, huevos y larvas de insectos y de microorganismos patógenos. Esta fase tiene una duración entre uno y cuatro meses, dependiendo de la composición inicial y del control de las condiciones de operación. Puede dividirse en tres etapas:

1. Inicial o Mesófila. Caracterizada por una intensa actividad microbiana donde se inicia la descomposición de los compuestos fácilmente degradables, provocando un incremento de temperatura y un ligero descenso del pH debido a la formación de ácidos orgánicos.
2. Etapa Termofílica. A partir de los 40°C aparecen los microorganismos termófilos; si se llega a los 60°C, los hongos se inactivan y la descomposición tiene lugar debido

a los actinomicetos y bacterias formadoras de esporas. Las sustancias fácilmente degradables, azúcares, proteínas y lípidos, son rápidamente consumidas y la mayoría de patógenos eliminados. A su vez, el pH se recupera y se alcaliniza debido al consumo de los ácidos orgánicos y al aumento de la concentración de amonio por descomposición de proteínas. Conforme la concentración relativa de compuestos orgánicos resistentes aumenta, la velocidad de descomposición y el consumo de oxígeno decrecen.

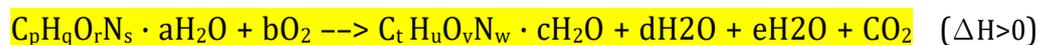
3. Etapa de enfriamiento. La temperatura comienza a disminuir, los hongos termofílicos reinvasan el material y la celulosa y hemicelulosa inician su descomposición. Esta etapa es la más exigente del proceso y su buen desarrollo condiciona la continuidad de éste. En esta fase, biopolímeros como la celulosa y la lignina quedan parcialmente alterados y, pasan a ser, en la fase de maduración, las estructuras básicas para la formación de nuevas macromoléculas, que incluirán el amonio liberado durante la primera fase.

Fase de maduración.– En la fase de maduración tienen lugar los procesos de biopolimerización para formar moléculas complejas y estables. Los microorganismos mesófilos y diversa microfauna colonizan el material para obtener, en un tiempo del orden de unos pocos meses, un compost completamente estabilizado y parcialmente humificado.

1.3.3. Condiciones del proceso de compostaje

El compostaje se caracteriza por ser un proceso dinámico, biológico, aerobio y, en consecuencia, termófilo. Por tanto, los microorganismos que realizan el proceso son aerobios y necesitan de unas condiciones de humedad, aireación, nutrientes y pH que permitan y favorezcan su actividad (Gotaas, 1956; Golueke, 1974; Poincelot, 1975; Saña y Soliva, 1987; Bernal et al., 2009). La optimización del proceso consiste en encontrar las condiciones de operación que permitan el mínimo tiempo de las reacciones de la fase de descomposición con la mínima emisión de dióxido de carbono. Trabajar con tecnologías que permitan tener la masa en descomposición en recinto cerrado y en condiciones controladas de aireación, humedad y temperatura, permite obtener tiempos de descomposición del orden de pocas semanas.

La ecuación general del proceso puede representarse, de forma genérica mediante la reacción exotérmica siguiente:



Materia orgánica biodegradable

Oxígeno consumido

Materia orgánica estable (compost)

Agua evaporada

Agua más CO₂ producido

Se ha calculado un valor aproximado para esta energía de 14·10 KJ/Kg O₂ consumido. En este balance, la energía se pierde mayoritariamente por evaporación del agua, de

forma que a menudo se considera el proceso de compostaje como de bio-secado (Flotats, García y Fernández, 2008).

El estudio de los fenómenos interrelacionados de liberación de energía por reacciones de oxidación de compuestos orgánicos, catalizados por microorganismos, y de aportación de aire para cubrir los requerimientos de oxígeno de las reacciones biológicas, los de evacuación de humedad y los de control de temperatura, constituyen la base de conocimiento del proceso de compostaje. Dicho estudio implica profundizar en las relaciones termodinámicas a aplicar en el proceso, lo cual está fuera de los objetivos de este trabajo. Los parámetros importantes, a efectos prácticos, que condicionan el proceso de compostaje son (Barral, 2011):

☛ **Tamaño de partícula:** si bien un tamaño o reducido aumenta la velocidad de las reacciones químicas durante el proceso de compostaje, si el residuo es demasiado fino puede haber riesgo de compactación; se considera que el óptimo está entre 1-5 cm.

☛ **Relación C/N:** Durante la fermentación aerobia, los microorganismos consumen de 25 a 35 unidades de C por cada unidad de N, por ello, éste es el intervalo óptimo de la relación C/N en las materias brutas que se someten a compostaje. Valores más altos hacen que la velocidad de descomposición sea más lenta, mientras que valores inferiores pueden ocasionar pérdidas de N (en forma de amoníaco) y malos olores. La relación C/N se puede ajustar mezclando residuos con diferentes relaciones C/N. Durante el curso del compostaje, la relación C/N disminuye, pues aproximadamente el 70% del C se transforma en CO₂ (el resto entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos organismos), mientras que las pérdidas de N, debidas a la volatilización de N₂ y NH₃, son menores (alrededor de un 10%). El valor final de la relación C/N está condicionado por el grado de madurez, pero también por las características de las materias primas, pues si se trata, por ejemplo, de materiales lignocelulósicos, de muy lenta degradación, el valor de C/N permanecerá alto, sin que ello signifique forzosamente falta de madurez.

☛ **Temperatura:** durante el compostaje, la temperatura varía con la actividad metabólica de los microorganismos, que produce calor. Una baja temperatura durante el proceso supone una lenta transformación de los residuos (y ausencia de higienización), pero una alta temperatura (>66°C), causa la destrucción de la mayor parte de los microorganismos (pasteurización), fenómeno que sólo debe permitirse al final del compostaje, para asegurar la eliminación de patógenos. Para evitar un incremento excesivo de la temperatura, se voltea o airea periódicamente la masa de residuos, de modo que, al tiempo que se aporta oxígeno, se consigue una disminución transitoria de la temperatura. Para asegurar la eliminación de microorganismos patógenos y semillas de malas hierbas, los residuos deberían estar expuestos a una temperatura de 55°C, como mínimo, durante al menos dos semanas, o a 60°C, como mínimo, durante al menos una semana, o a 65°, como mínimo, durante cinco días o a 70°C, como mínimo, durante tres días (Reglamento (UE) 2019/1009 por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE).

☛ **Humedad:** Los organismos necesitan agua para llevar a cabo sus procesos vitales. El contenido óptimo de humedad es de 40-60%. Si el contenido de agua es más bajo

se reduce la actividad biológica, mientras que, si es más alto, la mayoría de los poros están ocupados por agua, lo que dificulta la aireación; las bacterias aerobias son sustituidas por bacterias anaerobias que llevan a cabo la fermentación anaerobia de la MO, con desprendimiento de olores desagradables. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas por lo que la mejor técnica es la del compostaje donde se mezclan materiales húmedos (lodos EDAR, estiércoles, etc.) con materiales secos.

• **Aireación** (Oxígeno): el contenido de O_2 ha de ser superior al 5%, siendo deseables valores entre 15-20% de O_2 . Las necesidades de oxígeno son bajas en la fase mesófila, alcanzan el máximo en la fase termófila y disminuyen de nuevo al final del proceso. La aireación, sin embargo, no debe ser excesiva, puesto que puede hacer disminuir la temperatura y el contenido de humedad hasta el punto de inhibir la actividad microbiológica y detener el proceso de compostaje. Para mantener unos niveles adecuados de oxigenación se utilizan agentes estructurantes como la paja, virutas, etc. El aporte de oxígeno puede ser suministrado por difusión pasiva o por convección, favorecida por las diferentes temperaturas inducidas por la actividad microbiana, así como por ventilación por volteos y aireación forzada.

• **pH**: es un índice de la evolución del proceso de compostaje. El pH de los RSU está entre 5-7; en las primeras fases del compostaje, el pH desciende hasta 4-4,5 por efecto de los ácidos orgánicos formados a partir de compuestos carbonados fácilmente descomponibles; luego asciende hasta 8-8,5, debido al efecto alcalinizante del amoníaco, coincidiendo con el máximo de actividad de la fase termófila, y finalmente se estabiliza en un valor entre 7-8.

1.3.4. Sistemas de compostaje

Se han desarrollado diversas tecnologías de compostaje, que tienen como finalidad optimizar los parámetros del proceso, teniendo en cuenta las características de composición y volumen de los materiales a compostar y la escala de trabajo. El objetivo final es obtener un producto final de suficiente calidad, tanto desde el punto de vista sanitario como por su valor como fertilizante, pero también, cuando se trata de compostaje industrial (principalmente de RSU), conseguir un acortamiento del proceso y una disminución de los requisitos de espacio y energía, compatibles con una calidad suficiente de producto (Barral, M.T., 2011). Atendiendo a diversos criterios, los sistemas de compostaje pueden clasificarse en: a) abiertos / cerrados / semicerrados (trincheras o canales), según el nivel de aislamiento del exterior; b) estáticos / dinámicos, según se efectúe o no volteo de los residuos durante el compostaje; c) intensivos / no intensivos, según el grado de intervención en el proceso, con el fin de acelerar el compostaje (figura 10). La elección del sistema de compostaje depende del tiempo disponible para completar el compostaje, de los materiales y volúmenes a descomponer, el espacio disponible, la disponibilidad de recursos de maquinaria, mano de obra y económicos, y la calidad requerida del producto final. Las pilas son los sistemas tradicionales de compostaje. Los sustratos a compostar se disponen en hileras o montones de sección variable, preferiblemente sobre un pavimento impermeabilizado y en pendiente, para facilitar la recogida de

los lixiviados. Se pueden disponer al aire libre, con o sin cubierta superior, o en naves cerradas. En este último caso puede emplearse un sistema de ventilación y extracción de aire que se conduce a biofiltros para eliminar malos olores. Según la forma en que se efectuó la aireación se pueden distinguir tres tipos:

a) Pilas estáticas con aireación natural: es el sistema más antiguo que se conoce y se realiza en pilas de altura reducida que no se mueven durante el compostaje; se produce una ventilación natural a través de los espacios de la masa a compostar.

b) Pilas estáticas aireadas: el material se airea por medio de tuberías de aireación en el pavimento, bien por succión, bien por inyección. La intensificación del proceso permite reducir su duración a 4-8 semanas; no obstante, deberá ir seguido de maduración durante 1-2 meses.

c) Pilas volteadas: el material se remueve periódicamente por medios mecánicos, a fin de homogeneizarse, aumentar la porosidad de la pila, favorecer la aireación y controlar la temperatura y la humedad (Fig. 11). La frecuencia del volteo depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que interesa que sea realizado el proceso. El sistema es muy simple, pero se requiere más espacio y el control higiénico es más difícil. La *trinchera* es una modalidad de pila aireada (sistema semicerrado), en la que los residuos se disponen en espacios delimitados por paredes verticales, sobre las que se desplazan las volteadoras, lo que permite reducir el espacio necesario para el tratamiento. En la mayoría de los sistemas de compostaje en los que se lleva a cabo la aireación pasiva implican una agitación o volteo periódico de los materiales. Pese a que el volteo cargará a los materiales de aire fresco, el aire introducido en dicho proceso es rápidamente consumido en el proceso de compostaje por la biomasa que eleva la temperatura (Moreno, 2007). El efecto de volteo que mayor influencia tiene sobre la aireación es la reconstrucción del espacio poroso en el material que facilita los procesos de difusión y convección.

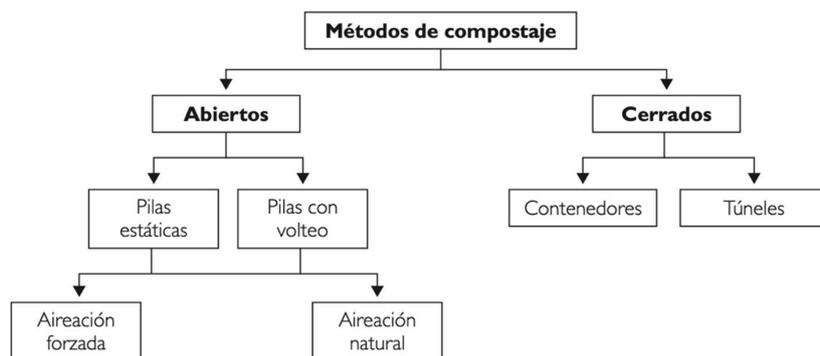


Figura 10. Esquema de los métodos de compostaje (Lavado et al., 2017)



Figura 11. Sistema de compostaje en hileras en la empresa Terracan Compost A. Volteos periódicos con volteadora autopropulsada ST230 B. Pilas CP1,CP2,CP3 correspondientes al presente estudio en el parque de compostaje (foto propia)

Además, los sistemas de compostaje se pueden dividir en abiertos y cerrados. Los sistemas de compostaje abiertos se basan en el apilamiento de los materiales a compostar en pilas trapezoidales. Se recomienda que la altura de las pilas no sea muy alta para evitar la compresión de los materiales, ocasionada por su propio peso, que impediría la adecuada aireación de la masa. También se debe de evitar que la pila sea muy baja para que no haya una pérdida rápida de calor y humedad. Por otro lado, en los sistemas de compostaje cerrados el proceso se lleva a cabo en unos recipientes o recintos cerrados. Dentro de los sistemas de compostaje creados se encuentran los siguientes tipos (Barral, 2011):

a) Los reactores son recintos herméticos que facilitan el control de todos los parámetros de compostaje. En ellos se lleva a cabo únicamente la fase inicial del compostaje, que debe ir seguida de una fase de maduración al aire libre o en naves abiertas. El empleo de reactores permite reducir considerablemente las necesidades de espacio, se controlan mejor los parámetros del proceso y se reducen los olores citados, que se producen principalmente en las primeras etapas del compostaje. Hay una gran variedad de modelos, tanto verticales como horizontales, y con dimensiones muy variables. Los reactores dinámicos son dispositivos cerrados de metal u hormigón, que permiten el movimiento del material en su interior y el control de distintos parámetros, como temperatura, nivel de oxígeno, desprendimiento de dióxido de carbono, etc. En cuanto a los reactores estáticos, los más utilizados son los contenedores y los túneles. Los contenedores son recipientes paralelepípedos cerrados, de acero, con doble fondo para ventilación y recogida de lixiviados. Su tamaño o permite transportarlos de un lugar a otro. Los túneles de compostaje se emplean mucho en compostaje industrial; son recintos paralelepípedos herméticos contruidos en hormigón, con una entrada provista de una puerta aislante a través de la cual se carga el material. El sistema permite un control total del proceso, mediante sondas de temperatura y dispositivos captadores de gas, que permiten analizar el nivel de O_2 y, opcionalmente, de CO_2 , NH_3 y otros gases; las medidas son transmitidas

a un ordenador, pudiéndose controlar el proceso mediante ventilación forzada y riego. La ventilación se efectúa a través de un suelo perforado, bien por aspiración o soplado; los gases son luego conducidos a biofiltros, que eliminan los compuestos que producen malos olores. Los lixiviados son recogidos y conducidos a un depósito, para ser reutilizados en la humectación de los residuos. El tiempo de permanencia en el túnel es de 2-3 semanas, durante las cuales se lleva a cabo la descomposición activa de los residuos, disminuyéndose los problemas de lixiviados y olores típicos de esta fase.

b) Los compostadores son recipientes de materiales diversos (madera, plástico, enrejados de metal...), en los que se introducen los materiales a compostar; la aireación se produce de forma natural o mediante volteo. Son adecuados para el compostaje doméstico o de servicios comunes, tales como comedores, residencias, hospitales, etc. El proceso se puede completar con un tratamiento de vermicompostaje. En esta modalidad de compostaje, una vez superada la fase más activa de descomposición y calentamiento, se introducen en la masa de residuos lombrices detritívoras (generalmente de la especie *Eisenia phetida*), que colaboran en la trituración y degradación de la MO residual. Las lombrices tienen un efecto importante sobre la madurez y calidad del compost: aumentan el contenido de nitrógeno del producto final y disminuyen la relación C/N del material, llevando a una maduración más rápida del compost. La fragmentación de los residuos que producen las lombrices incrementa la actividad microbiana, y libera nutrientes en formas más fácilmente asimilables por las plantas (Edwards 1995).

El control del proceso viene condicionado por las siguientes variables:

- Localización y sensibilidad de la zona que rodea la instalación de compostaje. Este aspecto puede marcar el grado de control deseable sobre determinados vectores indeseables como puede ser el caso de los olores.
- Legislación que afecte a las instalaciones, al residuo a compostar y al producto que se va a obtener. Por ejemplo, y en referencia al residuo a compostar, la legislación referente a los SANDACH (Subproductos animales no destinados al consumo humano), el Reglamento (UE) nº 142/2011, marca para algunas de sus categorías en su Anexo V, de Transformación de subproductos animales y productos derivados en biogás o compost, en su Capítulo III, una serie de normas de transformación que indican posibles puntos críticos de control en los tratamientos de compostaje tales como la granulometría del material, temperatura máxima alcanzada y tiempo de duración de la misma, etc. Asimismo, esta legislación hace referencia expresa a que el tipo de compostaje tiene que ser necesariamente en "reactor cerrado de paso obligatorio". En el caso del producto a obtener, por ejemplo, la Decisión de la Comisión Europea referente a los criterios ecológicos de enmiendas del suelo (CE 799/2006) hace referencia expresa a la prohibición de la mezcla de los residuos a compostar con determinados tipos de Lodos de depuración o al origen de alguna de las materias primas de mezcla.
- El nivel de calidad y tipo de producción que se desea obtener para el compost final (venta a granel o ensacado; nivel de calidad requerido para el producto; posibilidad

de obtener diferentes tipos de calidades, etc.). Las posibles calidades de los productos generados suele venir regulado por la normativa en vigor.

– El coste que se esté dispuesto a asumir en el tratamiento de residuos y producción del compost. Por ejemplo, un post-procesado del compost mediante su ensacado y/o peletización supone un coste añadido al de producción, que en su estudio económico de viabilidad ha debido ser contemplado, y, adicionalmente, una serie de procesos adicionales a controlar.

Hay que poner de manifiesto que la estrategia de control del proceso depende sobremanera de la tecnología de compostaje seleccionada. A continuación se esquematiza la relación de algunas de las variables citadas con el principal sistema de compostaje que se utilice. Como se ha indicado, a mayor nivel tecnológico mayor coste de las instalaciones, lo cual hace prever que el sistema de hileras con volteo es el que, amén de ser capaz de producir un producto de calidad siguiendo el control adecuado de los parámetros indicados con anterioridad, se coloca como el más eficaz ya que, al ser el más económico, se convierte también en el más accesible y válido para ser adoptado por asociaciones agrícolas, comunidades ó mancomunidades como la Mancomunidad del Noroeste de Gran Canaria. En especial si utilizando técnicas sencillas como biofiltros, pueden reducir también la problemática medioambiental que podría conllevar ciertos tipos de residuos agrícolas como es el caso de la gallinaza por los malos olores.

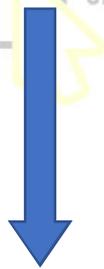
Sistema de compostaje	Nivel tecnológico de control	Control relativo de las instalaciones	Problemática medioambiental asociada	Tiempo de procesado en planta
• Pilas estáticas pasivas	MENOR	MENOR	MAYORES	MAYOR
• Hileras con volteo				
• Pilas estáticas aireadas				
• Trincheras o canales con aireación forzada y volteo				
• Contenedores Aireados discontinuos y maduración en pilas bajo techo				
• Reactores Rotatorios (Tambores)				
	MAYOR	MAYOR	MENORES	MENOR

Figura 12. Comparación de diversos Sistemas de Compostaje en base a cuatro características globales (Chica y García-Morales, 2007)

Independientemente del tipo de sistema adoptado, conviene reseñar que dos instalaciones de compostaje raramente tendrán un sistema de control de proceso idéntico debido a las distintas materias procesadas, tecnologías utilizadas en su proceso y los posibles requerimientos de los consumidores de los productos finales.

1.3.5. Evaluación de la calidad del compost

Obtener un compost de calidad ha de ser un objetivo imprescindible en cualquier tratamiento. Aunque las exigencias de calidad dependen de los fines a los que se destine el compost, éste ha de cumplir unos requisitos mínimos, que podemos concretar en: un aspecto y olor aceptables, una higienización correcta, un bajo nivel de impurezas y contaminantes, un buen nivel de componentes agrónomicamente útiles y una cierta constancia de características (Soliva, 2002). Si el compost no cumple con unos criterios de calidad, su aplicación puede ocasionar diversos inconvenientes. Algunos derivan de los materiales que se compostan, como, por ejemplo, contenidos elevados de metales pesados en compost obtenido de RSU sin correcta separación en origen, o de fangos de depuradoras de aguas residuales urbanas, o de residuos ganaderos con niveles altos de Cu y Zn, que se añaden a los piensos y que se concentran durante el compostaje. Otros problemas se producen por deficiencias en el proceso de compostaje: malos olores, presencia de gérmenes patógenos, semillas indeseables, contaminación estética y peligro de heridas por causa de materiales inertes, así como falta de estabilidad de la MO y presencia de productos fitotóxicos. Para evitar estos inconvenientes se establece como principal requisito de un compost para su uso seguro en el suelo su grado de estabilidad o madurez, lo que implica un contenido de materia orgánica estable y la ausencia de compuestos fitotóxicos y patógenos vegetales o animales. La madurez está asociada con el potencial de crecimiento de las plantas o la fitotoxicidad (Iannotti et al., 1993), mientras que la estabilidad a menudo se relaciona con la actividad microbiana del compost. Sin embargo, tanto la estabilidad como la madurez suelen ir de la mano ya que los compuestos fitotóxicos son producidos por los microorganismos en composts inestables (Zucconi et al., 1987).

Si bien la lista de posibles parámetros para establecer indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost es muy larga, un pequeño número de ellos puede ser suficiente. En cuanto a la evaluación de la madurez del compost, éste es un problema especialmente relevante desde el punto de vista de su utilización agronómica, ya que la aplicación a los suelos de cultivo de un compost inmaduro (con una relación C/N elevada) puede causar la inmovilización del N mineral, pues se produce un aumento de la microflora que utiliza parte del N presente en el suelo para la formación de estructuras celulares con la consecuente indisponibilidad de este elemento para las plantas. Otro de los efectos de la aplicación al suelo de MO insuficientemente estabilizada es su descomposición posterior, provocando un descenso del nivel de oxígeno, así como un aumento de la temperatura, que afecta negativamente al desarrollo de las plantas. Además, el compost inmaduro puede contener sustancias fitotóxicas, tales como amoníaco, óxido de etileno, ácidos orgánicos como el ácido acético, propiónico y butírico, que inhiben la germinación y el desarrollo de las plántulas (Iglesias y Pérez, 1989). En el caso de los índices de estabilidad y madurez, existen problemas para establecer parámetros físicos, químicos y biológicos adecuados que indiquen el grado real de la evolución de la MO durante un proceso de compostaje. La respuesta a este problema estriba en el uso integrado de diferentes técnicas para proporcionar una información más completa de la naturaleza y composición del compost, y por tanto, un uso más apropiado del mismo. En definitiva, la determinación de 3 o 4 parámetros podría ser adecuada para materiales de

diferente origen (por ej., carbono soluble, amonio, nitratos e índice de germinación), pero es necesario establecer experimentalmente valores límites para las diferentes mezclas y, cuando ya existen a nivel mundial, asegurar su constancia en el tiempo.

En el caso de calidad, los parámetros más adecuados dependen del uso final, y pueden ser definidos de acuerdo a objetivos específicos (sustrato acidificante, reemplazo parcial de turba, fuente de P, mejorador de estructura, etc.). El establecimiento de normas de calidad en función de usos específicos contribuiría a garantizar la homogeneidad del producto, un aspecto generalmente descuidado en la producción de compost, que termina limitando su aceptación en el mercado (Cooperband, 2000). El principal desafío para identificar indicadores es lograr seleccionar aquellos que sean lo suficientemente representativos, y a la vez fáciles de interpretar y de medir en análisis de rutina, a fin de facilitar el aprovechamiento de los residuos orgánicos disponibles en el país y desalentar su uso sin controles. Teniendo en cuenta estas consideraciones se han propuesto diversos criterios (físicos, químicos y biológicos) para estimar la madurez del compost, pero ninguno de ellos es operativo aisladamente, para su aplicación a todo tipo de materiales. Por tanto, es imprescindible la utilización combinada de diversos parámetros indicadores de la actividad microbiana durante el compostaje y de la "humificación" del material. Los métodos propuestos para la evaluación del grado de madurez pueden agruparse en cinco tipos, varios de estos parámetros pueden encontrarse en Iglesias y Pérez (1989):

a) Parámetros sensoriales de la madurez (test o criterios de tipo físico): olor, color y granulometría. Dichas características físicas dan una idea general del estado de descomposición alcanzado, pero dan poca información en cuanto al grado de maduración.

b) Evolución de parámetros de la biomasa microbiana: temperatura, emisión de CO₂, consumo de O₂, y actividad deshidrogenasa. La madurez de un compost puede evaluarse por su estabilidad microbiana, que se determina midiendo el recuento de biomasa microbiana, su actividad metabólica y la concentración de componentes fácilmente biodegradables (*índice de degradabilidad, lípidos extraíbles). Los métodos de laboratorio para evaluar la estabilidad a través del metabolismo latente incluyen el consumo de oxígeno o la actividad respiratoria y la producción de calor, los cuales son indicativos de la cantidad de materia orgánica degradable aún presente y que está inversamente relacionada con la estabilización (Zucconi et al., 1987). Los estudios respirométricos, que determinan el consumo de O₂ o CO₂, producción provocada por la mineralización de la materia orgánica del compost, se han realizado en compost puro y en compost mezclado con suelo en una proporción compatible con el uso agrícola (Morel et al., 1979, Iannotti et al., 1993). Un compost insuficientemente maduro tiene una fuerte demanda de O₂ y altas tasas de producción de CO₂ debido al desarrollo intenso de microorganismos como consecuencia de la abundancia de compuestos fácilmente biodegradables en la materia prima, por esta razón, el consumo de O₂ o la producción de CO₂ son indicativos de la estabilidad y madurez del compost (Hue y Liu, 1995). En cuanto a la actividad deshidrogenasa global, ésta es un reflejo de la actividad oxidativa total de la microbiota y por tanto de la actividad

microbiológica. Se propone como valor límite de madurez (para estiércoles) un valor inferior a $35\mu\text{g TPF g}^{-1}\text{d}^{-1}$ (TPF: trifenil formazano)(Tiquia, 2005).

c) Estudio de la MO: índice de degradabilidad*, lípidos extraíbles*, carbono orgánico soluble en agua (Cw) y absorbancia a 460 y 660 de extractos pirofosfato. Puesto que el compostaje es una transformación bioquímica de la materia orgánica llevada a cabo por microorganismos cuyo metabolismo ocurre en la fase soluble en agua, para evaluar la madurez del compuesto se precisa de un estudio de los cambios que ocurren en la materia orgánica soluble. Chanyasak y Kubota (1981) establecieron una relación Cw/NOT de 5-6 como un indicador esencial de la madurez del compost. Sin embargo, esta relación es a veces difícil de evaluar, ya que la concentración de N orgánico en el extracto de agua de las muestras maduras suele ser muy baja. Por esta razón, Hue y Liu (1995) sugirieron usar la relación Cw/NOT como un parámetro adecuado para evaluar la madurez del compost, proponiendo un valor de <0.70 como nuevo índice de estabilidad del compost. Otros autores han propuesto (como alternativa a la relación C/N tanto en fase sólida como en fase soluble en agua) la determinación del Cw como simple índice de madurez, ya que siempre se observa un descenso paulatino durante el compostaje, hasta una práctica estabilización. Además, se observa que el Cw se correlaciona significativamente con la absorbancia a 465 nm en todos los compost y con el ratio COT/NOT, por lo que también se propone como método simple para estimar la madurez la medida de la absorbancia a esas longitudes de onda. Numerosos autores encuentran valores inferiores a $4\text{ g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ para compost altamente maduros en compost de muy diverso origen.

d) Indicadores químicos de la madurez:

- Relación o ratio ácidos fúlvicos/ácidos húmicos (AH/AF) ó tasa de polimerización . Una investigación profunda sobre la naturaleza y composición de las fracciones “húmicas” del compost constituye sin duda el criterio más exacto para establecer el grado de evolución de la materia orgánica dado que la estabilización o maduración también implica la formación de algunas sustancias de tipo húmico. Por tanto, el grado de humificación de la materia orgánica se acepta generalmente como un criterio de madurez. Durante el compostaje se produce un incremento paulatino de la fracción de AH y un descenso paralelo de AF y, por tanto, un incremento de la tasa de polimerización, entendida en sentido amplio como ratio AH/AF y se propone un valor mínimo para este ratio de 1,9 (Jiménez, I. et al, 1992). Sin embargo, los mecanismos específicos de la “humificación” de la materia orgánica durante el compostaje son poco conocidos, sobre todo en relación a los posibles mecanismos de condensación de los polifenoles derivados de la degradación de la lignina y fenoles y polifenoles sintetizados por microorganismos, aunque se acepta que los mecanismos naturales de formación de los ácidos húmicos pueden ser aplicables al compostaje, al menos en parte. Por otra parte dadas las altas temperaturas alcanzadas durante el compostaje, la “humificación” del compost puede incluir reacciones complejas a alta temperatura, tipo amino-carbonilo o Maillard (Stevenson, 1994).

- Relación entre carbono orgánico total y nitrógeno orgánico total (COT/NOT), relación entre C y N solubles (Cw/Nw), relación entre capacidad de intercambio catiónico y COT (CIC/COT). El proceso de humificación produce grupos funcionales, por lo que una

mayor oxidación de la materia orgánica conduce a un aumento de la CIC, por lo que este parámetro se ha utilizado para evaluar la madurez de los RSU, con $CIC > 60$ meq/100 g como índice de madurez (Harada e Inoko, 1980).

-Relación $N-NH_4^+/N-NO_3^-$. Por otro lado, la madurez del compost también se puede definir en términos de nitrificación. Cuando la concentración de amonio (NH_4^+) disminuye y los nitratos (NO_3^-) aparecen en el material de compostaje se considera que este material está listo para ser utilizado como compost (Finstein y Miller, 1985). Un alto nivel de NH_4^+ apunta a material no estabilizado, lo que llevó a Zucconi y de Bertoldi (1987) a establecer un límite de 0,04% para el compost de RSU maduro.

e) Métodos biológicos (test de fitotoxicidad): germinación y/o crecimiento de berro, cebada u otras especies. El grado de madurez también puede ser revelado por métodos biológicos que involucran la germinación de semillas y la longitud de la raíz (Zucconi et al., 1981), ya que los compost inmaduros pueden contener sustancias fitotóxicas como ácidos fenólicos y ácidos grasos volátiles (Kirchmann y Widn, 1994) que dificultarían la germinación.

Por otra parte, cabe destacar la creciente introducción de técnicas instrumentales avanzadas de uso común en otras áreas, que facilitan y mejoran la interpretación del proceso de compostaje y la evaluación de los productos finales. De entre estas técnicas destacan: la espectroscopia de fluorescencia, la termogravimetría, la espectroscopia de infrarrojos mediante transformada de Fourier (FT-IR) y la espectroscopia de resonancia magnética nuclear de sólidos.

Una relación más ampliada de los límites de algunos de los parámetros citados se muestra en la tabla 7.

El destino final más común del compost es la agricultura, que es también el que presenta en Europa el mayor potencial de absorción del compost, pero también puede emplearse en la horticultura, el paisajismo, la jardinería profesional y particular, la selvicultura, etc. Se le considera a nivel legislativo como una enmienda orgánica, pues contiene una elevada concentración de MO estabilizada y una concentración relativamente baja de nutrientes disponibles a corto plazo; sin embargo, su capacidad de suministro de nutrientes ha de ser tenida en cuenta en el balance de nutrientes a medio y largo plazo. Las ventajas de la aplicación de un compost de calidad en el suelo derivan fundamentalmente del incremento de MO, pero también de esta cierta capacidad de suministro de nutrientes. Así, mejora la estructura del suelo, disminuyendo el riesgo de erosión y compactación, y facilita el laboreo, lo que permite ahorrar energía; aumenta la capacidad de retención de agua; aporta elementos nutritivos y aumenta la capacidad de intercambio catiónico, disminuyendo el riesgo de lixiviación de nutrientes, y por todo ello disminuye la necesidad de aportes de fertilizantes minerales; aumenta la absorción de calor debido a la coloración oscura de la MO; disminuye los efectos negativos de compuestos tóxicos tales como plaguicidas y metales pesados; incrementa la cantidad y diversidad de microorganismos y fauna del suelo, y; a través de las mejoras que induce en el suelo, incrementa la productividad vegetal. Un aspecto adicional de gran interés, en cultivos de campo e invernadero, es su efecto supresor de enfermedades, por lo que pueden ser empleados en la lucha contra los fitopatógenos (e.g. *Phytophthora*, *Phythium* o

Rhizoctonia)(Barral, M.T., 2011). Diversos trabajos de investigación realizados en Galicia, en cultivos en campo e invernadero, pusieron de manifiesto mejoras significativas en el suelo y en el cultivo como consecuencia de la aplicación de compost (Domínguez 2004; Domínguez et al., 2004). Así, en lo que concierne a las propiedades físicas, los suelos que recibieron compost mostraron un incremento de la capacidad de retención de agua, disminución de la pérdida de suelo por acción de la lluvia y disminución de la densidad aparente del suelo. En cuanto a las propiedades químicas, la adición de compost ocasionó un incremento del pH, del contenido en nutrientes y del contenido en MO del suelo. Las propiedades biológicas también se vieron beneficiadas por la aplicación de compost, pues se produjo un aumento de la biomasa microbiana, un incremento de la actividad enzimática (deshidrogenasa) y un aumento de la producción vegetal (aunque no en todos los ensayos). El compost puede también emplearse como sustituto parcial de la turba en la preparación de medios de cultivo, permitiendo importantes ahorros en los costes de producción (Barral et al., 2006; Moldes et al., 2006; Gavilán-Terán et al., 2017) y la preservación de recursos no renovables, como son las turberas, ecosistemas poco frecuentes y frágiles, que necesitan protección y que actúan como sumidero de C. El compost grueso también puede usarse como mulch, para cubrir el suelo y protegerlo frente a la erosión. La jardinería, tanto pública como privada, es otra actividad que potencialmente puede absorber grandes cantidades de compost, tanto para la implantación y mantenimiento de césped como para desarrollo de plantas ornamentales. La silvicultura también se beneficia de este producto, que se utiliza en viveros y para trasplante de coníferas. Otro extenso campo de aplicación es la restauración ambiental; así, por ejemplo, en el sellado de vertederos, en la restauración de canteras y de escombreras de mina (Paradelo et al. 2006), en la regeneración de terrenos afectados por incendios forestales, revegetación de taludes, descontaminación de suelos, y como biofiltro para la retención de contaminantes y la desodorización.

1.3.6. Normativa aplicada para establecer la calidad de los compost

En España la calidad del compost está regulada por el Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes (últimas modificaciones Real Decreto 999/2017-introducción productos fertilizantes que incorporan microorganismos y Orden APA/161/2020-empleo de lodos en la elaboración de fertilizantes), en el que se distinguen cuatro tipos de compost (compost, compost vegetal, compost de estiércol, vermicompost y compost de alperujo) y se establecen valores límites de microorganismos patógenos, metales pesados, humedad y porcentaje de inertes y un contenido mínimo de MO, así como de partículas finas. También, se debe informar sobre los contenidos de nutrientes si superan unos valores mínimos (Tablas 5 y 6).

Tabla 5. Requisitos de calidad del compost en general, según el Real Decreto 506/2013 , sobre productos fertilizantes (modificado).

Parámetro	Valor
MO total	> 35 % s.m.s.
C/N	< 20
H	30-40 %
Partículas < 25 mm	>90 %
Piedras y gravas > 5 mm	< 5%
Plásticos y otros inertes >2 mm	< 3 %

Se indicarán o declararán:	Contenidos máximos de metales pesados (mg/kg p.s.)			
Materias primas	Metal	Clase A	Clase B	Clase C
MO total	Cd	0,7	2	3
Ácidos húmicos	Cu	70	300	400
Granulometría	Ni	25	90	100
Ntotal (si supera el 1%)	Pb	45	150	200
Norg (si supera el 1%)	Zn	200	500	1000
N amoniacal (si supera el 1%)	Hg	0,4	1,5	2,5
P ₂ O ₅ total (si >1%)	Cr total	70	250	300
K ₂ O total (si >1%)	Cr (VI)	0	0	0

Tabla 6. Límite máximo de microorganismos patógenos en compost, según el Real Decreto 506/2013, sobre productos fertilizantes (modificado).

Límite máximo de microorganismos

Microorganismo	Requisito (*)
<i>Salmonella</i>	Ausente en 25 g
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 NMP por g

* producto elaborado

En la Unión Europea la calidad de los compost se establece mediante el Reglamento (UE) 2019/1009 por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE. En esta normativa se establecen las condiciones armonizadas para la puesta a disposición en el mercado de los fertilizantes producidos a partir de materiales reciclados u orgánicos en todo el mercado interior. Los límites establecidos para para compost en este Reglamento son los que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Requisitos de calidad del compost, según el Reglamento (UE) 2019/1009, sobre las disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE

Parámetro	Valor
C orgánico (% sobre m.s.)	>7,5
Materia seca (%)	>20
Metales pesados (mg/kg m.s.):	
Cadmio	2
Cromo (VI)	2
Cobre	300
Mercurio	1
Níquel	50
Plomo	120
Zinc	800
Arsénico inorgánico	40
Microorganismos:	
Salmonella spp	Ausentes en 25 g o 25 mL
E. coli	1000 en 1 g o 1 mL
Estabilidad mínima:	
Índice respirométrico	<25 mmol O ₂ /kg materia orgánica/h
Test de autocalentamiento:	Mínimo Rottegrad III
Contaminantes orgánicos:	
PAHs (mg/kg m.s.)	6
Impurezas (g/kg m.s.)	< 3 (> 2 mm) en forma de vidrio, metal o plástico < 5 suma de las impurezas anteriores macroscópicas

2. OBJETIVOS

La elaboración de este estudio atiende a la necesidad de recordar los fundamentos del compostaje para determinar la oportunidad actual de aplicarlo de forma eficiente para el ecosistema, identificando los factores que le afectan, los aspectos técnicos de su desarrollo y control, así como la influencia de todo ello en el rendimiento y en la calidad, manejo y aplicaciones del compost obtenido. Como objetivo primordial se pretende con esta labor contribuir al conocimiento general de los procesos de compostaje en una zona vulnerable que abarca todo el Noroeste de Gran Canaria. Esta situación de vulnerabilidad está lejos de resolverse ya que por una parte, la generación de estiércol se encuentra necesariamente muy concentrada geográficamente hablando y, además, el ganadero no tiene dónde esparcir los estiércoles a modo de fertilizantes. Globalmente, e independientemente de las especies, son escasas las granjas correctamente equipadas de plantas de tratamiento: los ganaderos no suelen haber integrado la necesidad de dar salida a los estiércoles en sus estrategias de producción. Dada la creciente producción de residuos agropecuarios en la isla y la imperiosa necesidad de darles salida, agravada por la condición de insularidad, a lo que se suma el avanzado deterioro de los suelos ubicados en zonas definidas como vulnerables por el Decreto 49/2000, de 10 de abril,

tal y como se ilustra en la figura 13 y, con la finalidad de luchar contra determinadas prácticas agrícolas, una forma de abordar la situación puede ser elucidar la problemática. Una de las prácticas agrícolas más perjudiciales donde se trata a los suelos como 'vertederos encubiertos' como ya se apuntó al inicio, es la aplicación masiva y continuada de todo tipo de estiércoles sin tener en cuenta sus características, posible toxicidad, madurez, etc. Como tales prácticas probablemente se deban al desconocimiento del deterioro que pueden causar, es por lo que se propone un ejemplo de producción de tres tipos de compost donde se han aplicado los fundamentos básicos del compostaje como un tratamiento factible para reciclar estos residuos, y, además, darles un valor añadido mejorando sus propiedades para uso agrícola.

En función de lo anteriormente mostrado, el objetivo de este trabajo ha sido evaluar los efectos de tres tipos de estiércoles (gallinaza, estiércol de cabra y estiércol de vaca) durante su co-compostaje con residuos orgánicos de origen municipal y agrícola de la zona afectada, para el uso agrícola posterior de los compost.

Para ello se han caracterizado a nivel físico-químico y químico estos ingredientes residuales de granjas ya que teóricamente cualquier producto natural puede ser metabolizado durante el compostaje, siempre que se aporten el resto de requerimientos nutricionales de los microorganismos implicados pudiendo aparecer condiciones no deseadas que lleven a la producción de un producto que pueda perjudicar indirectamente al entorno y, por tanto, al ecosistema. Por tanto, debido a su complejidad en cuanto a la diversidad de compuestos químicos y su heterogeneidad se ha requerido, en primer lugar, un análisis previo que permita establecer las características físico-químicas y químicas de cada uno de los materiales iniciales que van a conformar la pila de la mezcla inicial, que son cada uno de los tres tipos de estiércol (gallinaza, estiércol de cabra y estiércol de vaca) y los residuos vegetales procedentes de jardines municipales y de residuos de cultivos agrícolas así como la paja de trigo utilizada como estructurante.

Durante el proceso de compostaje se estudió la evolución de la temperatura, la humedad y de diferentes parámetros físico-químicos y químicos, y también se evaluó el valor agrícola, la higienización y la madurez de los compost obtenidos para determinar su posible aplicación agronómica en los suelos agrícolas de la isla de Gran Canaria.

~~- ZONAS DECLARADAS VULNERABLES EN LA ISLA DE GRAN CANARIA -~~

En muchas zonas existe un grave problema de contaminación por el vertido incontrolado de purines, produciendo contaminación de las aguas y de los acuíferos por nitratos, inutilización de terrenos y malos olores. Esta situación ha producido una sobre saturación de los acuíferos en los que se produce el vertido habiendo sido declarados algunos como Zonas Vulnerables a la contaminación por el Decreto 49/2000, de 10 de abril, lo que incide en la prohibición del vertido de abonos nitrogenados por encima de unos ciertos niveles (que se encuentren en estado de eutrofización o superen una concentración de nitratos de 50mg/l). En este decreto quedan definidas en Canarias las zonas afectadas por dicha contaminación y las

vulnerables en aplicación de esta normativa. Las zonas definidas se han incorporado a las zonas vulnerables declaradas del Registro de Zonas Protegidas y éstas son: “Las de los términos municipales de Gáldar, Guía, Moya, Telde y La Aldea de San Nicolás y que están situados por debajo de la cota de 300 metros sobre el nivel del mar”(figura 13). Estos Municipios pertenecen al noroeste insular.



Figura 13. Masas en riesgo seguro por contaminación por nitratos. Fuente: IDE Gran Canaria (2021).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

* Materiales iniciales.-

- Estiércol de gallina ponedora
- Estiércol de cabra
- Estiércol de vaca
- Poda triturada de silvicultura, jardinería y parques (hojas, ramas y troncos)
- Paja de trigo

* Pretratamientos.- Debido a la heterogeneidad de las materias primas a tratar; a la necesidad de reducir la presencia de potenciales contaminantes que en el caso de residuos agropecuarios se reducen a materiales como cables, cuerdas, plásticos, caucho, etc. pero que también mermarían la calidad del producto final; a la

necesidad de proporcionar al sistema de compostaje una materia suficientemente homogénea, porosa, con la humedad correcta, y con un tamaño de partícula adecuado; se ha procedido a los pretratamientos habituales que han favorecido el adecuado desarrollo del proceso. En este sistema los pretratamientos se han reducido a tratamientos mecánicos: triaje de elementos extraños, trituración (figura 14), riego de materiales secos y separación en montones medibles de cada uno de los materiales para conseguir el volumen apropiado determinado para la mezcla idónea de materiales.

* Conformación de las pilas.- Las tres hileras se van conformando utilizando la misma altura y mismo número de paladas en cada una. Se van cubriendo los materiales iniciales sin mezclar en tres capas intercaladas.

1ª capa : 29,7% de restos de poda del total de la mezcla, $h_m=40,12$ cm como altura media de la hilera habiendo medido la altura en 5 puntos en cada una de ellas.

2ª capa : 32,7% estiércol del total de la mezcla, $h_m=84,30$ cm como altura media de la hilera habiendo medido la altura en 5 puntos en cada una de ellas.

1ª hilera -> gallinaza de ponedoras

2ª hilera -> estiércol de cabra

3ª hilera -> estiércol de vaca

3ª capa : 37,6% de paja de trigo del total de la mezcla, $h_m=135,10$ cm como altura media de la hilera habiendo medido la altura en 5 puntos en cada una de ellas.

Nota Para el cálculo de proporciones volumétricas de los materiales de partida éstos se han cubierto utilizando el volumen de la pala del tractor para formar montones iguales, a la vez que se ha delimitado geométricamente en altura la misma pila para minimizar los errores (figura 14).

De esta forma quedan elaboradas las tres pilas de estudio (porcentajes respecto a peso fresco):

Pila 1 (CP1) = 29,7%poda+32,7%gallinaza+37,6%paja de trigo

Pila 2 (CP2) = 29,7%poda+32,7%estiércol de cabra+37,6%paja de trigo

Pila 3 (CP3) = 29,7%poda+32,7%estiércol de vaca+37,6%paja de trigo

* Homogenización.- Una vez conformadas las pilas se han mezclado bien los materiales con varios pases de la volteadora para homogeneizar la mezcla.

* Seguimiento del proceso de compostaje.- Durante el proceso o procesos de degradación de los residuos se ha efectuado el seguimiento diario de los parámetros más importantes que determinan la correcta evolución del proceso de forma que se facilite la precisa intervención en las diferentes etapas ya sea con volteos, riegos, incorporación de materiales o productos, hecho este último que en este caso no ha procedido. Los parámetros que se han determinado diariamente son: temperatura, aireación, pH y humedad. Asimismo se ha efectuado la toma de muestras en cada una de las distintas etapas: inicial, termófila, de enfriamiento y maduración, para su correspondiente análisis en laboratorio.

* Volteos periódicos.- Los volteos son establecidos por los valores de temperatura y aireación de forma que si sobrepasa los 65-70°C en fase termofílica y si la aireación es limitada se procede a voltear la pila. Igualmente cuando la temperatura ha sido inferior a 40°C se ha procedido a voltear el material con el objetivo de determinar si se había llegado al final de la fase de enfriamiento. El espacio temporal entre volteos ha sido de 7-10 días en las fases bio-oxidativa y de enfriamiento.

* Traslado a la nave de maduración.- Cuando el material ha permanecido con una temperatura de menos de 40°C a lo largo de cinco días consecutivos se ha dado por finalizada la fase de enfriamiento y pasando a trasladar dicho material a la nave de maduración (figura 15).



Figura 14. A) Marcación y conformación de pilas. B) Las tres pilas de estudio en el patio de compostaje antes de homogeneizar la mezcla (foto propia)



Figura 15. Nave de maduración con los tres tipos de compost madurando.

3.2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

3.2.1. Características de los residuos utilizados.

Como ya se ha expuesto es importante caracterizar adecuadamente los residuos que se van a compostar. Se ha tenido en cuenta que los residuos estén libres de contaminantes químicos que, en el caso de estos residuos agropecuarios, esta situación no es frecuente. A continuación se indican los valores de los principales parámetros analizados de los residuos agropecuarios utilizados como base de este estudio (tabla 8).

Tabla 8. Datos de Análisis Químico de los residuos iniciales empleados.

Material	H (%p/p)	M.S. (%p/p)	C.E. (mS/cm)	pH	MO T (%P/P)	COT (%P/P)	NT (%P/P)	PT (%P/P)	KT (%P/P)	C/N (calculado)
Poda	10,92	89,1	4,43	6,76	87,2	50,6	1,47	0,298	3,17	34,42
Paja	9,45	90,5	0,996	6,93	92,1	53,4	0,556	0,0689	1,593	96,04
Gallinaza	39,8	60,2	7,11	8,64	50	28,99	3,36	3,53	5,36	8,63
Cabra	19,81	80,2	5,94	8,28	65,6	38,1	2,41	1,099	5,92	15,81
Vaca	46,4	53,6	7,16	10,21	43,6	20,08	1,191	0,727	4,33	16,86

H: humedad; MS: materia seca; CE: conductividad eléctrica; COT: carbono orgánico total; NT: nitrógeno total

Se constata que:

- El material con una relación C/N más elevada es la paja de trigo mientras que la gallinaza posee la relación más baja.
- Los pH elevados de los estiércoles se compensan co-compostándolos con los pH neutros de los materiales secos (poda y paja) que hay que humedecer con agua ya que son muy secos.
- El estiércol de vaca es el que presenta mayor humedad y el de cabra el de menor humedad.
- La gallinaza es el estiércol con mayor contenido de nutrientes: nitrógeno y fósforo.
- El estiércol de cabra es el que tiene el potasio más elevado.
- El estiércol de vaca es el de mayor conductividad eléctrica y pH, mientras que la paja y la poda presentan valores más ácidos.
- La conductividad de la paja es muy baja y su contenido en nutrientes también es bajo, por lo tanto su papel principal es como agente estructurante.
- El potasio es el nutriente en mayor concentración en el caso de la poda (presente principalmente en las hojas)

3.2.2. Dispositivo de compostaje utilizado

El sistema utilizado es el de pilas con volteo ya que es uno de los más sencillos y económicos. Se utiliza como sistema abierto (al aire libre) con ventilación tipo wind-row, caracterizado por el hecho de que la pila se remueve periódicamente para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y la temperatura, así como suministrar el oxígeno necesario para que la degradación de la materia orgánica sea aerobia. En esta tecnología, los materiales se amontonan sobre el suelo o pavimento, sin comprimirlos en exceso. La forma y medida de la pila juegan un papel determinante. Las dimensiones utilizadas en las pilas se seleccionan, por un lado, para permitir una correcta aireación y, por otro, para que no haya excesivas pérdidas de calor. En este caso las dimensiones son: 1,5 m de alto x 2,5 m de ancho x 16 m de largo, con una sección trapezoidal al inicio que ha quedado después en forma semicircular con lo que se favorece el drenaje del agua (figura 16B). En dicha figura se puede apreciar la disposición de los residuos a compostar en pilas o hileras espaciadas dentro del área o patio de compostaje, preparado para facilitar el movimiento de la máquina volteadora que, en este caso, va a tracción lateral del tractor. El área o patio de compostaje se encuentra completamente expuesto por lo que las hileras se protegen de la lluvia y del viento con cobertores textiles que permiten la transpiración e intercambio de gases. Una vez constituida la pila, la única gestión necesaria es el volteo o mezclado con la máquina volteadora, que se constituye como la pieza clave del proceso y consta de un eje propulsor hidráulico con palas frontales que levantan la masa a compostar y la mezclan consiguiendo también desmenuzar ciertos materiales. La frecuencia de volteos ha dependido del tipo de material, de la humedad y de la rapidez deseada para realizar el proceso, que en este caso ha evolucionado de forma espontánea y natural. Los volteos sirven para homogeneizar la mezcla y su temperatura como ya se ha indicado, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad para mejorar la ventilación, así como proporcionar el oxígeno necesario para la degradación de los residuos. Después de cada volteo la temperatura ha

descendido de 5 a 10°C para subir rápidamente según el tipo de estiércol cuando aún sigue en la fase termófila. El lugar donde tiene lugar el proceso de compostaje es en el área o patio de compostaje, provisto de cimentación semipavimentada (figura 16) y una pendiente del 3-5% para redirigir los lixiviados a la balsa de lixiviados, que pertenece a la planta de compostaje de Terracan Compost, cuyo proceso de producción se expone de forma somera a continuación.

-MODELO PRODUCTIVO DE TERRACAN COMPOST-

Terracan Compost se dedica única y exclusivamente al tratamiento de los residuos agrícolas y ganaderos de las cercanías con una recepción anual de residuos agropecuarios de 15.000 toneladas y con capacidad para 50.000 toneladas anuales. Dichos residuos se utilizan para producción de compost (aprox. 1.800 ton/año), vermicompost y bocashi (aprox. 1000 ton/año) y biofertilizantes líquidos. Su proceso productivo actualmente sigue el sistema abierto en instalación al aire libre con el proceso dinámico a base de hileras o pilas con volteo tipo windrow. El objetivo principal de producción es la obtención de 'compost de calidad' capaz de regenerar los suelos, de descontaminarlos y de aportarles una mejora en su estructura física, química y biológica; además de esto, la rentabilización de la producción agrícola de sus clientes junto a una integración medioambiental de sus tierras agrícolas dentro de sus propios ecosistemas se instaure como base piramidal de sus fundamentos. Actualmente el producto obtenido, compost, vermicompost y lixiviados va destinado principalmente a la agricultura de la zona dominada por la Sociedad Agrícola de Conagrigan y la Sociedad Agraria de Transformación de Costa Caleta, dedicadas al cultivo intensivo de plataneras. Otros cultivos de destino cercanos son el papayo y la piña tropical bajo régimen de cultivo protegido. Asimismo, el vermicompost obtenido se utiliza principalmente en el municipio vecino de Agaete donde destaca el cultivo del café, cítricos, viñedos, aguacates y, en menor medida, mangos, duraznos, chirimoyas, caquis, nísperos y guayabos. Otros destinos del compost y vermicompost son los altos o medianías de la isla de los Municipios de Guía y Arucas para almendros y manzanos y, por último, también se dirige al Sur de la isla en cultivos maracuyá y otros frutales subtropicales. Las materias primas son recibidas también de granjas cercanas, avícolas intensivas, de vacuno, ovino y caprino en semiextensivo.

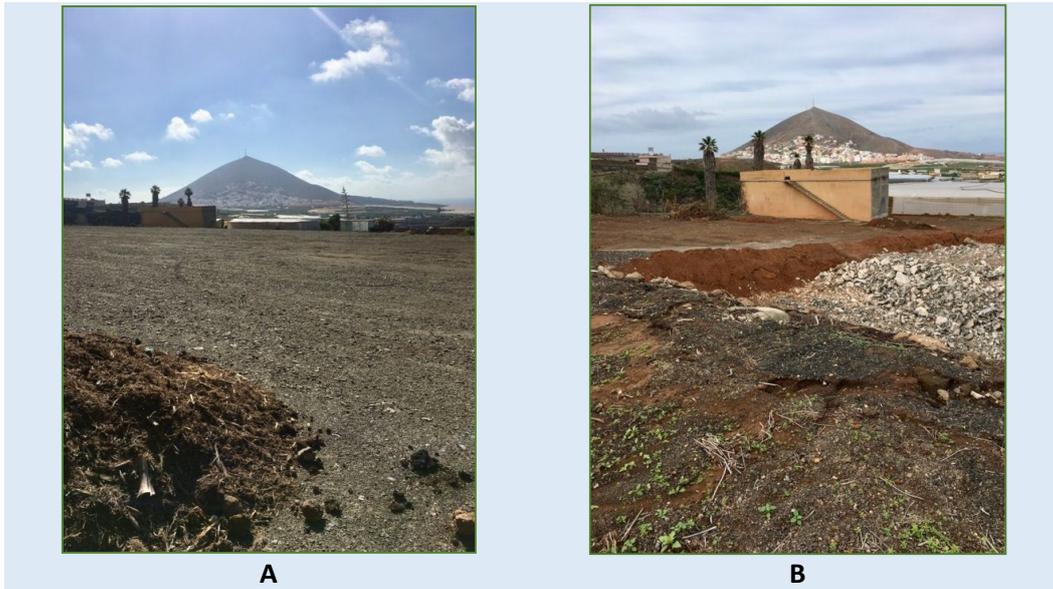


Figura16. A) Patio de compostaje n°1 semipavimentado. B) Trabajos adecuados para la semipavimentación en las dependencias de Terracan Compost en patio de compostaje n°2.

Se ha procedido a la realización de este trabajo según el modelo productivo de Terracan Compost que sigue el siguiente diagrama de flujo de procesos de producción (figura 17).



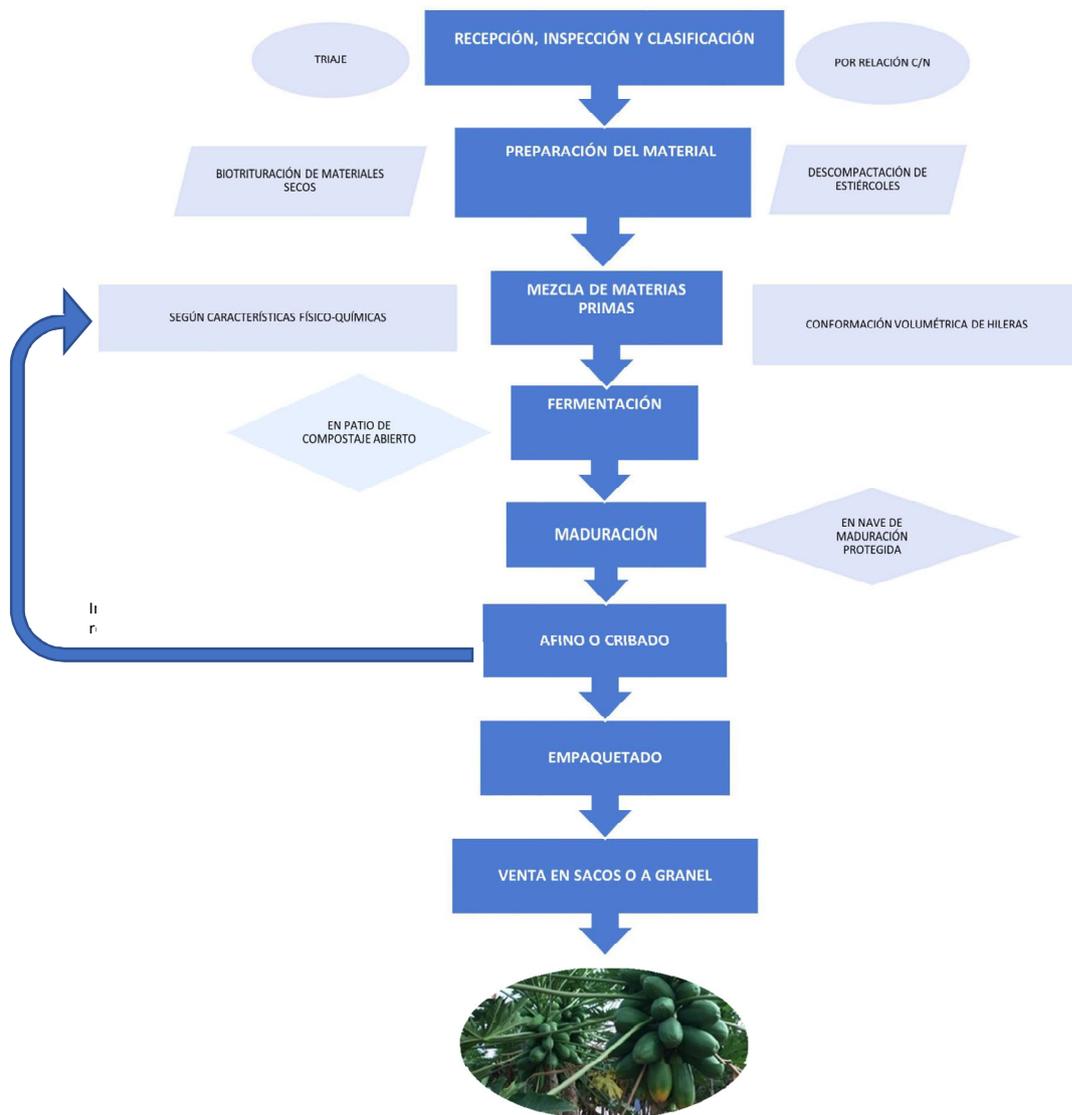


Figura 17. Diagrama de flujo del proceso productivo de Terracan Compost.

Todas estas actividades se realizan en emplazamientos adecuados y cercanos para facilitar la tarea y evitar posibles contaminaciones o pérdidas del material. A continuación se exponen algunas actividades cotidianas dentro de este proceso productivo (figura 18).



Figura 18. Distintas etapas en el flujo de producción: A)Recepción de estiércol de cabra B) Trituración de restos de poda de jardinería C)Afino y cribado del material obtenido

3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Volteos.-

Al inicio del proceso se dan varios pases de volteadora para homogeneizar la mezcla y en la fase bio-oxidativa los volteos han sido periódicos según las necesidades requeridas de oxígeno para la biomasa, resultando tres o cinco días al principio, semanales en la fase termófila y luego cada vez más espaciados en el tiempo. Estos volteos se han podido dar más a menudo cuando se ha producido una caída de la temperatura o la temperatura ha subido por encima de 65°C.

La etapa de madurez comienza cuando no se observa subida de temperatura después de un volteo y además la temperatura está muy cercana a la ambiental. La etapa de madurez ha durado un mes y durante esta etapa la pila solo se ha regado para alcanzar la humedad adecuada, pero no se ha volteado.

Muestras.-

Conviene reseñar que, un adecuado control del proceso requiere la retroalimentación informativa del sistema, es decir, la adopción de un adecuado plan de toma de muestras en puntos clave de la instalación y de su análisis para verificar la idoneidad de los tratamientos y consignas de funcionamiento adoptados (García, 2008).

- Muestra inicial: Se ha tomado una muestra inicial de la mezcla preparada el primer día.

- Muestra etapa termófila: Se ha tomado una muestra durante la etapa termófila, preferiblemente haciendo coincidir este muestreo con un volteo para que de este modo la muestra fuera lo más representativa de toda la pila.
- Muestra final de la etapa de enfriamiento: Se ha tomado una muestra al final de la etapa de enfriamiento.
- Muestra final de la etapa de madurez: Se ha tomado una muestra al final de la etapa de madurez.

En todos los muestreos, se han tomado siete submuestras a lo largo de la pila, se han mezclado y se ha tomado una muestra única. De esta manera, se ha asegurado la representatividad de la muestra.

Transporte a la nave de maduración.-

Las hileras son levantadas al final de la fase de enfriamiento y transportadas a la nave de maduración (figura 15) donde el material no se ha volteado y sólo se ha mantenido su humedad para que esté entre 30-40%.

Afino y cribado del material.-

En la misma nave de maduración y en un compartimento de afino y cribado, se procede al afino para eliminar impurezas pasando el compost por criba de 8 mm luz.



3.4. PARÁMETROS ANALIZADOS Y MÉTODOS UTILIZADOS

Durante la evolución de cada uno de los estiércoles al ser co-compostados con los residuos vegetales, se ha caracterizado cada una de las 4 etapas del proceso, para evaluar finalmente la calidad agronómica de cada uno de los tres tipos de compost obtenidos. Desde el punto de vista del compost como fertilizante, es necesario conocer la composición química del compost, para evaluar la cantidad de nutrientes incorporados al suelo y prever que cantidad de elementos nutritivos estarán disponibles para la planta.

Parámetros controlados:

- Temperatura: La temperatura se ha tomado a diario, mediante la sonda de temperatura y casi siempre entre las 11 y 13 horas. Se ha tomado la temperatura en cinco puntos a lo largo de la sección longitudinal de la pila. La temperatura requiere tomarse a una altura que corresponda con el centro de la masa por lo que se ha usado la sonda de 1,3 metros de longitud. También, se ha tomado a diario la temperatura ambiental.
- Humedad: La humedad se ha controlado de forma diaria, siguiendo el mismo protocolo que para la medida de la temperatura.

Parámetros a determinar en las muestras de co-compostaje.-

Los análisis que se han realizado en las muestras tomadas al inicio, durante la etapa termófila y después de la etapa de enfriamiento han sido:

- pH
- Conductividad eléctrica
- Materia orgánica
- Carbono orgánico total
- Nitrógeno total

En la muestra tomada después de la etapa de madurez se ha determinado:

- pH
- Conductividad eléctrica
- Materia orgánica
- Carbono orgánico total
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Potasio total
- Metales pesados (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Cr total y Cr (VI))
- Microorganismos patógenos (Salmonella y E. coli)

A continuación se exponen los métodos utilizados para las diferentes determinaciones tomadas en Fitosoil Laboratorios Acreditado por ENAC bajo la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025.



Tabla 9. Métodos de laboratorio utilizados para las determinaciones analíticas de los diferentes parámetros físico-químicos, químicos y microbiológicos.

DETERMINACIONES	METODOLOGÍA
Humedad	PTA-FQ-024, desecación a 105°C
Materia seca	PTA-FQ-024, desecación a 105°C
Conductividad eléctrica 25°C en extracto 1/5 (v/v)	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038
pH en extracto 1/10 (p/v)	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037
Cenizas	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total (MOT)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total (COT)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total (NT)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2
Fósforo total	PTA-FQ-029, Extracción basado en UNE-EN 15956, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Potasio total	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
METALES PESADOS	METODOLOGÍA
Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Cromo VI	PTA-FQ-034, HPLC-UV, basado en UNE-EN 16318
PATÓGENOS	METODOLOGÍA
Recuento de Escherichia coli por NMP	PTAMC 042. Número más probable miniaturizado
Investigación de Salmonella spp	PTA-MC-025. Aislamiento e identificación, basado en ISO 6579-1

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVOLUCIÓN DE LOS FACTORES RELATIVOS AL PROPIO PROCESO DE COMPOSTAJE

El compostaje como proceso dinámico y complejo, desde el punto de vista de la sucesión de los microorganismos que actúan, presenta una temperatura, pH, asimilabilidad de los nutrientes y actividad biológica en constante cambio, pero deben conocerse muy bien las posibles variaciones de cada parámetro para interpretarlas correctamente. A continuación se analiza la evolución de los parámetros más importantes en cada una de las tres pilas del presente ensayo.

4.1.1. TEMPERATURA

En la figura 19 se representan los diferentes perfiles de temperatura de las tres pilas de estudio con respecto a la temperatura ambiente. En cuanto a los máximos de temperatura alcanzados se ha intentado no sobrepasar la temperatura de 70°C ya que a $T > 70^\circ\text{C}$ se inhibe la actividad microbiana por lo que es importante la aireación de la pila para evitar la muerte de los microorganismos (Jaramillo, 2008). La CP1 ha alcanzado los valores más altos de temperatura (72,9°C) desde el quinto día, consiguiendo mantener estas temperaturas mayores de 60°C durante los siete primeros días. La CP2 ha conseguido la etapa termofílica desde el tercer día, alcanzando la temperatura de 71,3°C al cuarto día y con temperaturas por encima de 60°C durante catorce días consecutivos, al principio del proceso. En la CP3 la temperatura media mayor ha sido de 71,3°C, temperatura máxima a la que ha llegado el sexto día, y a partir de este día las temperaturas se mantuvieron por encima de 60°C durante ocho días. Este rápido incremento de la temperatura al inicio del proceso de compostaje también ha sido observado por otros autores al co-compostar estiércoles con residuos vegetales (Ali et al., 2014; Gavilanes-Terán et al., 2016; Afonso et al., 2021). En todas las pilas se ha observado un aumento de temperatura después de cada volteo, debido a la mejora de la oxigenación y la homogeneización de la mezcla.

La temperatura está estrechamente relacionada con la aireación debido a varios factores: enfría al material por favorecer la renovación del aire y la evaporación; incrementa la actividad de los microorganismos y por tanto el desprendimiento de energía, pero también puede provocar una excesiva pérdida de humedad y frenar el proceso provocando una disminución de la temperatura. Por ello, se ha controlado la frecuencia de volteos en función, en primer lugar, de la temperatura de forma que se ha evitado la elevación excesiva de la temperatura ya que produce una autolimitación microbiana por generación de calor. Debido a esto, con los volteos que aportan aireación también se consigue disipar energía calorífica a través del calor latente de vaporización del agua de tal forma que se necesita más volumen de aire para mantener la temperatura dentro de los niveles aconsejables que para mantener el nivel de oxígeno necesario para un proceso aerobio (Soliva et al., 2007). Pese a que el volteo carga a los materiales de aire fresco el aire introducido en dicho proceso es

rápidamente consumido en el proceso de compostaje (Moreno, 2007). En segundo lugar, se consigue homogeneizar el material y mejorar la porosidad, aspecto técnico primordial que repercutirá en el buen transcurso del proceso ya que la reconstrucción del espacio poroso en el material facilita los procesos de difusión y convección (Solera, 2008). En caso de materiales húmedos como lodos, purines, etc. también se consigue mediante los volteos controlar el exceso de humedad debido al exceso de volteos éstos se suelen combinar con los bio-secados. Por tanto, el seguimiento del proceso se ha controlado, principalmente durante la etapa termófila, mediante la frecuencia de volteos y riegos, control que ha venido determinado fundamentalmente por la temperatura (figura 19). Un posible factor limitante de esta técnica windrow de aireación en sistemas abiertos son las posibles pérdidas de nutrientes por volatilización, caso del gas amoníaco en la mezcla de la nube de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos durante los mecanismos de volteo; también se pueden producir pérdidas por lixiviación de material principalmente durante los riegos de éste. Todas estas limitaciones se han de controlar para minimizar estas pérdidas por lo que se ha trabajado con el mínimo de humedad, alargando los periodos de volteo y, sobre todo, trabajando con la mezcla adecuada de materiales. Los lixiviados se recogen en fosa de lixiviados y retornan al ciclo de producción mediante los riegos. En la figura 19 se muestra la frecuencia del número de volteos, que no ha sobrepasado los 6-10 días, exceptuando los tres primeros días en los que se han mezclado los diferentes tipos de materiales mediante volteos consecutivos. Además de los primeros volteos para conseguir la homogenización inicial del material, se ha procedido a voltear las pilas tal y como se muestra en la figura 19, con una frecuencia de entre 6 y 10 días. Los volteos se realizan mediante volteadora a la toma de fuerza del tractor y a tracción lateral. Cuando la temperatura media superó los 70°C se procede al volteo, haciéndose necesario incluso varios volteos para conseguir bajar la temperatura. Los siguientes pases se han efectuado para conseguir reactivar la masa microbiana facilitando la entrada de aire al incrementar la porosidad en la pila, con la consiguiente subida de temperatura.

La etapa biooxidativa en la CP1 se ha alargado un periodo de 105 días, en la CP2 unos 95 días aproximadamente y la CP3 se ha considerado la más efectiva con una duración de 65 días. Una vez acabada la etapa bio-oxidativa las pilas se dejaron madurar en la nave de maduración, sin realizar volteos, durante un periodo de un mes. En todas las pilas, se han mantenido las temperaturas >60°C durante más de siete días. De este modo, se ha conseguido la destrucción de semillas de malas hierbas, huevos y larvas de insectos y de microorganismos patógenos, de acuerdo con los requerimientos europeos sobre higienización de compost (Reglamento (UE) 2019/1009, por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE).

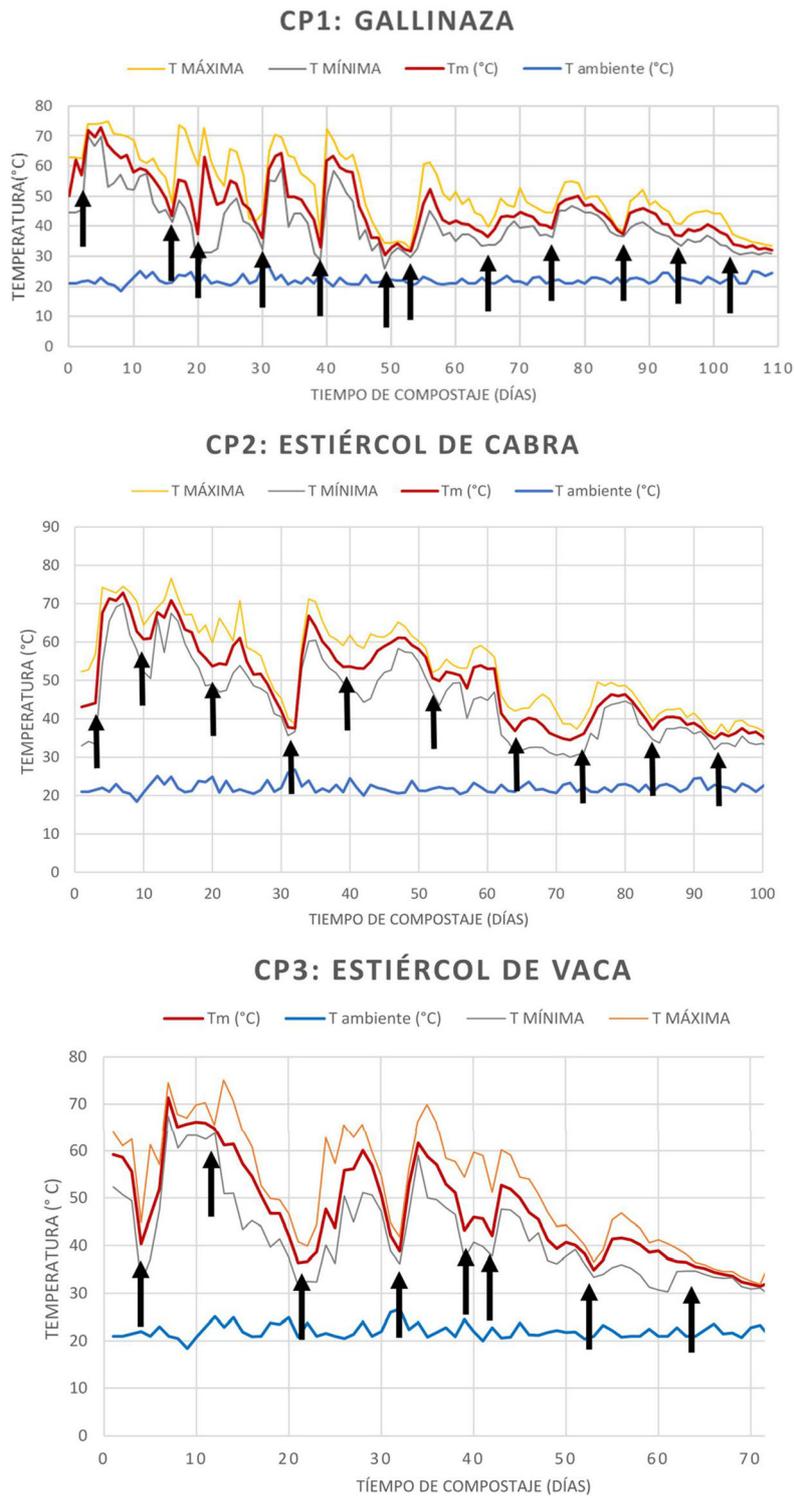


Figura 19. Evolución de la temperatura con respecto a la temperatura ambiente de cada una de las tres pilas. A) CP1:37,6%paja+32,7%gallinaza+29,7% de poda; B)CP2: 37,6%paja+32,7%estiércol de cabra+29,7% de poda y C) CP3: 37,6%paja+32,7%estiércol de vaca+29,7% de poda. Las flechas indican los días donde se realizaron los volteos.

4.1.2. HUMEDAD

El sistema formado por una masa en compostaje se considera de tres fases: fases sólida, líquida y gaseosa. Estas tres fases no son segregables con facilidad en el momento de tomar muestras y medir las diferentes composiciones. Es usual que la fracción mayor corresponda al agua, lo cual enfatiza la necesidad de controlar su contenido inicial para asegurar una fracción de volumen disponible para el aire adecuada (Flotats et al., 2008). En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso será anaerobio. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. En lo concerniente a las tres pilas de estudio, no ha sido necesario reducir la humedad, como es el caso de lodos y purines, ya que ésta se ha encontrado en niveles bajos en los materiales de partida de tal forma que se ha requerido cierto suministro de agua para humedecer los materiales fibrosos (paja y poda) hasta llevarlos a unos niveles del 40-50% de humedad. Estos dos tipos de materiales secos se han incorporado a la mezcla humedeciéndolos, pero sin que se deteriorase la estructura porosa que asegura la oxigenación. Respecto a los estiércoles, el estiércol de cabra ha tenido el porcentaje de humedad más bajo, del 20% en comparación con el 40% de la gallinaza y el 46% del estiércol de vaca. Finalmente, tras la mezcla de materiales y el mojado respectivo, la pila CP2 ha quedado en un inicio con la humedad más baja (del 40%) tal y como se indica en la figura 20.

La humedad de las tres pilas se ha intentado mantener dentro del rango aceptable requerido por la actividad de la biomasa (>40%) mediante riegos semanales. Sin embargo, la exposición de éstas a los fuertes vientos alisios del Norte ha acelerado la pérdida de humedad, siendo la más afectada la pila CP1 de gallinaza, con menor capacidad de retención de la humedad que la CP2 de estiércol de cabra y la CP3 de estiércol de vaca, con valores de humedad mayores a lo largo de todo el proceso, tal y como se aprecia en la figura 20. A su vez, la aireación obtenida mediante los volteos también puede provocar una excesiva pérdida de humedad y frenar el proceso provocando una disminución de temperatura, como ha sucedido en la pila CP1. Las pérdidas por lixiviados han sido mínimas. Así, tanto la CP1 como la CP2 han llegado a alcanzar ciertos valores mínimos de humedad, puntos considerados errores típicos de hasta un 20% de humedad, pero que han conseguido interrumpir, al menos parcialmente, la fase bio-oxidativa. En la pila CP3 del estiércol de vaca el valor mínimo ha sido del 30% de humedad. Esto corrobora la importancia de un buen manejo de la humedad para la correcta evolución del proceso de compostaje ya que se observa que cuando la pila desciende de 40°C el proceso biooxidativo se ralentiza o se interrumpe, como ha sucedido al final del primer mes. Cuando la humedad ha descendido del 40 % la fase bio-oxidativa se ha detenido. Por ello se ha podido prever que la humedad adecuada en este tipo de mezclas con proporciones altas de material estructurante ronda el 45% con lo que éste se ha considerado como valor de referencia de humedad.

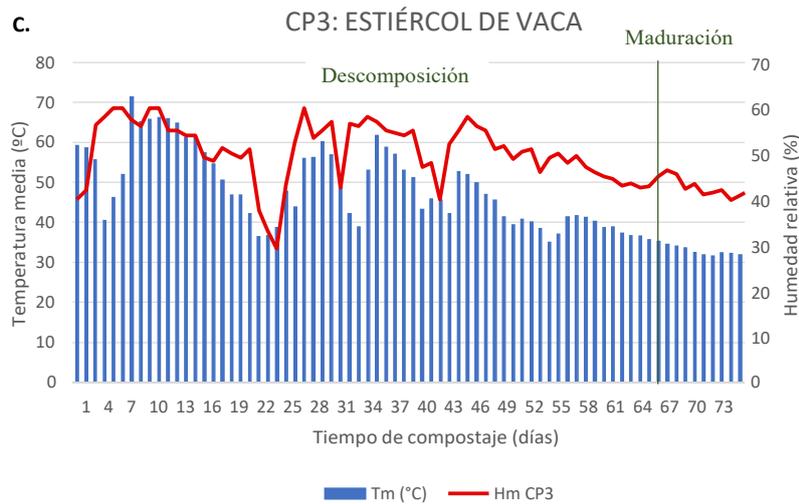
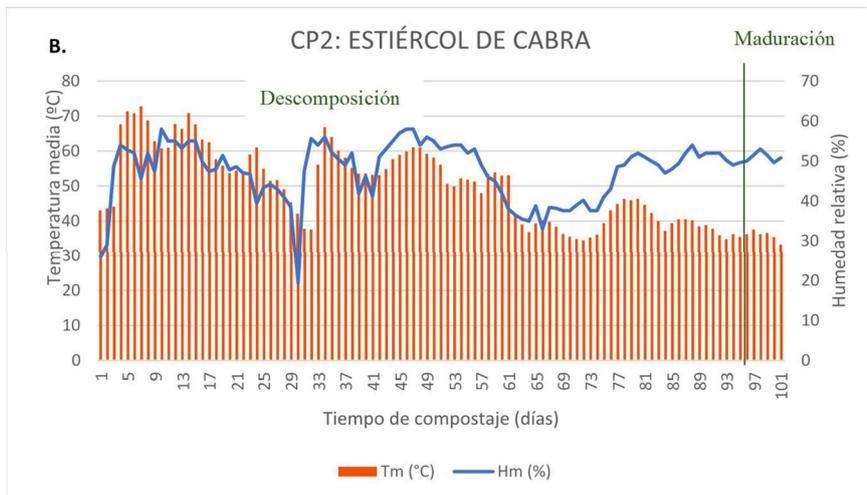
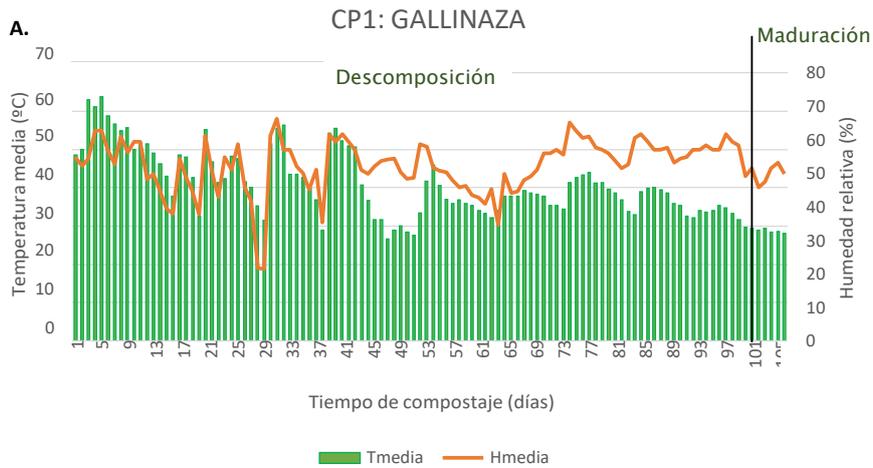


Figura 20. Evolución combinada de la temperatura y la humedad en la pila: A) CP1:37,6%paja+32,7%gallinaza+29,7% de poda; B) CP2: 37,6%paja+32,7%estiércol de cabra+29,7% de poda y C) CP3: 37,6% paja+32,7%estiércol de cabra+29,7% de poda

4.2. EVOLUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA Y DE SU FRACCIÓN SÓLIDA

Los sólidos (materia seca) están constituidos por materia orgánica volátil y cenizas. La MO es el principal factor para determinar su calidad agronómica (Kiehl, 1985). Durante el compostaje la MO tiende a descender debido a su mineralización y la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico (CO_2); estas pérdidas pueden llegar a suponer casi el 20% en peso de la masa compostada (Zucconi y col., 1987). La velocidad de transformación de la MO depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones físico-químicas del proceso (humedad, aireación, temperatura y pH) (Michel y col., 2004). El paso de materia orgánica a humus es muy complejo, involucrando un gran número de reacciones de degradación y condensación, donde se genera mayoritariamente CO_2 , H_2O y MO estabilizada, mayoritariamente sustancias con un alto nivel de humificación. Sin embargo, nos debe interesar la calidad de esta MO.

4.2.1. Materia orgánica

La MO es biotransformada en condiciones aeróbicas mediante reacciones de óxido-reducción catalizadas por enzimas microbianas. En este proceso, los microorganismos utilizan la materia orgánica como nutriente para su desarrollo, produciendo su descomposición (mineralización) hasta moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas, y la humificación, en las que se crean nuevas macromoléculas a partir de moléculas sencillas formadas en la descomposición, o a partir moléculas iniciales. El proceso en conjunto, como ya se ha apuntado, produce fundamentalmente calor, CO_2 , H_2O y humus (compuestos húmicos) cuya característica más destacable es su mayor resistencia a posteriores procesos de descomposición.

El porcentaje de MO ha decrecido desde valores de 51,7, 51,1 y 53,8% hasta 30,2, 31,9 y 29,7% en las pilas CP1, CP2 y CP3, respectivamente (figura 21). En todas las pilas se ha observado que la mayor pérdida de materia orgánica se ha producido durante la fase bio-oxidativa (fase mesófila + fase termófila + fase de enfriamiento), siendo las pérdidas durante la fase de maduración menores. Esta relativa estabilidad de las pilas después de la fase bio-oxidativa ha sido reportada también por otros autores durante el co-compostaje de residuos vegetales con estiércoles (Paredes et al., 2000, Bustamante et al., 2008, Gavilanes-Terán et al., 2016).

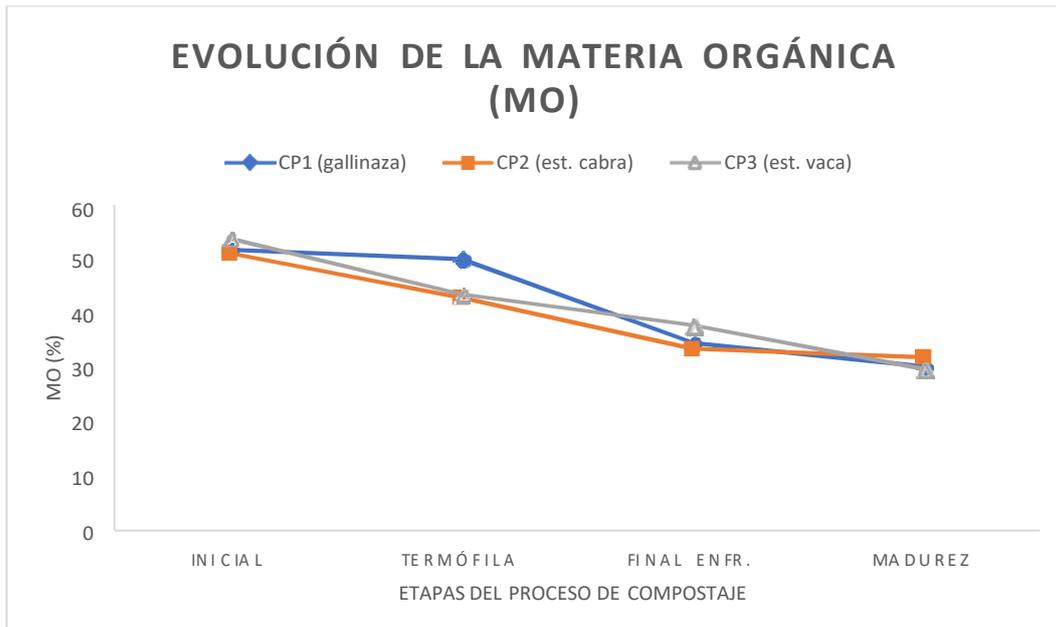


Figura 21. Evolución del porcentaje de MO durante el proceso de compostaje en las tres pilas de estudio: CP1:37,6%paja+32,7%gallinaza+29,7% de poda; CP2: 37,6%paja+32,7%estiércol de cabra+29,7% de poda; CP3: 37,6%paja+32,7%estiércol de vaca+29,7% de poda.



4.2.2. 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 CO₂ atmosférico. Por tanto, el compostaje es una forma de pérdida de carbono en forma orgánica a carbono atmosférico liberado como CO₂. Sin embargo, según el IPCC (2006), las emisiones de CO₂ del proceso de compostaje son biogénicas y forman parte del ciclo del carbono a corto plazo, por lo que estas emisiones no son contabilizadas. Como puede observarse en la figura 22, los porcentajes de COT iniciales tuvieron valores semejantes de 30,0, 29,7 y 31,2% para las pilas CP1, CP2 y CP3 respectivamente. La pila CP3 con estiércol vacuno es la que sufre el mayor descenso presentando como valor final 17,22 % de COT. Al contrario, sucede con la pila CP2 de estiércol de cabra que con un valor inicial menor que la CP3 queda al final con un valor de COT de 18,52%, que resulta ser el mayor valor final de COT. Con el transcurso del tiempo, el porcentaje de carbono orgánico de la pila experimenta un progresivo descenso mayor durante la fase biooxidativa, permaneciendo prácticamente constante en la fase de maduración, lo cual es señal de la estabilización de las tres pilas.

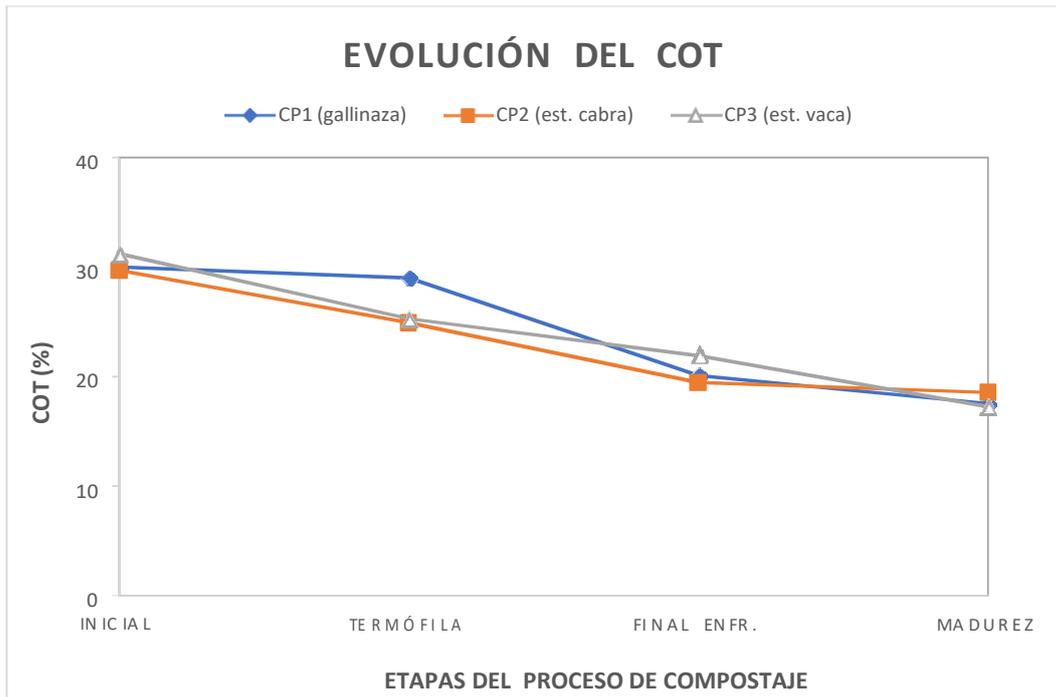


Figura 22. Evolución del porcentaje de carbono total (COT) durante el proceso de compostaje en las tres pilas de estudio: CP1:37,6%paja+32,7%gallinaza+29,7% de poda; CP2: 37,6%paja+32,7%estiércol de cabra+29,7% de poda; CP3: 37,6%paja+32,7%estiércol de vaca+29,7% de poda.



4.2.3. 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. Desde el punto de vista ambiental también, es importante evitar las pérdidas de este elemento para reducir las emisiones de compuestos nitrogenados volátiles considerados como GEI procedentes del proceso de compostaje(Pardo et al., 2015).

La figura 23 muestra la evolución del nitrógeno total durante el compostaje de las pilas estudiadas. La evolución general de este parámetro fue de una disminución a lo largo del proceso. Esta disminución del nitrógeno total puede atribuirse a las pérdidas por volatilización del gas NH_3 , que son inevitables durante los volteos de la pila, así como a las pérdidas de nutrientes por lixiviación durante los riegos, aunque han sido mínimas. En la pila CP1 de gallinaza y CP2 del estiércol de cabra estas pérdidas han sido mayores durante la fase bio-oxidativa, mientras que en la pila CP3 al final de la etapa de enfriamiento la concentración de NT ha aumentado. El aumento de NT que se produce en la pila CP3 puede deberse a la mineralización de la materia orgánica producida durante la biodegradación, de manera que al degradarse el carbono orgánico, parece que el nitrógeno aumente pero simplemente es que se reduce el peso de la masa y se concentra la cantidad de NT. Este hecho también ha sido observado

por otros autores en diferentes experimentos de compostaje (Paredes et al., 2001; Bustamante et al., 2008). En cuanto a la mayor riqueza de este nutriente en los compost finales, es la pila con gallinaza la que presenta mayor contenido final de NT, incluso tras haber mermado por volatilización del NH_3 y pérdidas mínimas de NO_3^- (NT final (CP1) = 1,61 %; NT final (CP2) = 1,37%; NT final (CP3)= 1,28%).

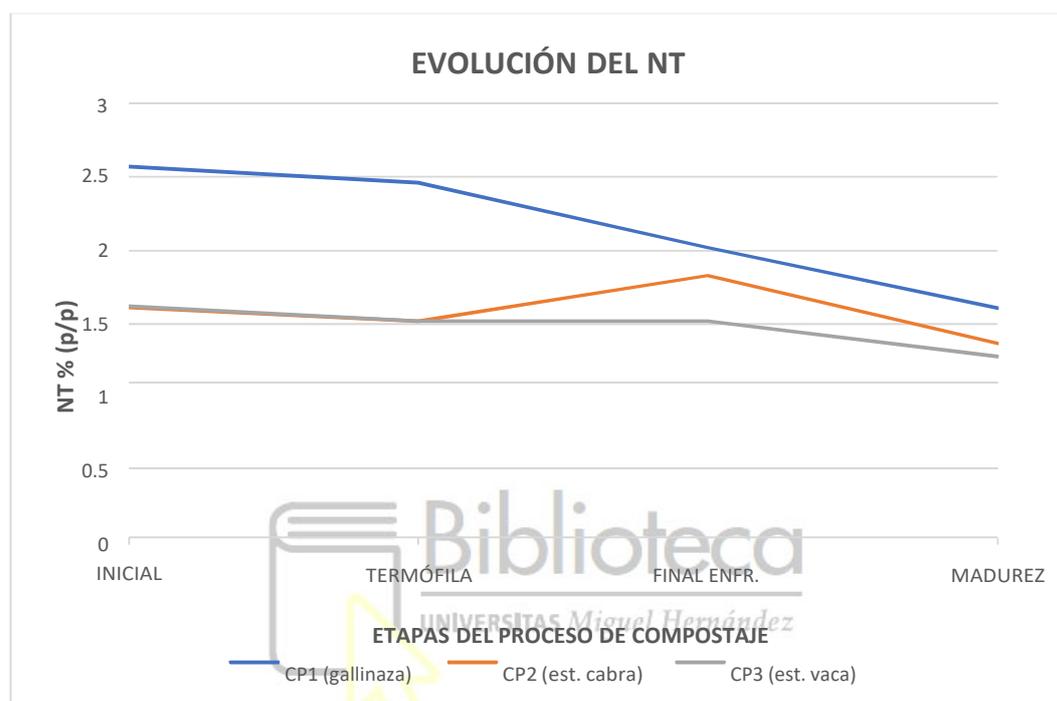


Figura 23. Evolución del porcentaje de NT durante el proceso de compostaje en las tres pilas de estudio:
 CP1:37,6%paja+32,7%gallinaza+29,7% de poda; CP2: 37,6%paja+32,7%estiércol de cabra+29,7% de poda;
 CP3: 37,6%paja+32,7%estiércol de vaca+29,7% de poda

4.2.4. Relación COT / NT

Cuando los microorganismos aerobios descomponen los componentes de la MO desarrollan nuevas células a partir del carbono, nitrógeno y otros nutrientes. Generalmente, los organismos utilizan 2/3 del C para la obtención de energía (respiración) y sólo combinan una tercera parte con el N para la formación de nuevas células. La actividad biológica se reduce si el material o materiales iniciales contienen mucho más C que N, en tal caso se requerirían varios ciclos de microorganismos para consumir el exceso de C. En el caso de que el material a tratar presente un exceso de N, éste es “eliminado” en forma de NH_3 , lo que debería evitarse, ya que, por una parte aparecen problemas de olores desagradables y contaminación y, por otra, el producto final habrá perdido parte de un nutriente importante. Por esta razón, la relación carbono orgánico total / nitrógeno total (COT/NT) de la muestra sólida es uno de los índices más utilizados para estudiar la evolución de la materia orgánica durante el compostaje, ya que, por un lado, representa la pérdida de carbono orgánico, como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica, mientras que por otro, mide el aumento de la concentración de nitrógeno debido a la pérdida de peso. Como resultado se obtiene una disminución de este parámetro, cuyos valores al final del proceso son prácticamente constantes, como puede observarse en la figura 24, como consecuencia de la estabilización de la materia orgánica. Para que el proceso de compostaje se desarrolle de forma adecuada, se considera que el material de partida debe de tener una relación COT/NT entre 25-35, (Jhorar y col. 1991). Cuando la relación C/N es superior a 35, el proceso se ralentiza por falta de nitrógeno, nutriente esencial para la actividad microbiana, con lo que las bacterias deberán esperar la lisis de parte de ellas para poder disponer de nitrógeno metabolizable de nuevo. Asimismo, cuando la relación C/N es inferior a 15-30, el nitrógeno está presente en exceso con lo que se acelera el proceso inicialmente y la probabilidad de pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco en los gases emitidos o en forma de nitrato en los lixiviados es elevada. Esto último, además, produciría condiciones de anoxia.

En la figura 24 se muestra la evolución de esta relación COT/NT de las mezclas estudiadas durante el proceso de compostaje. En todas las pilas, se han obtenido valores iniciales de esta relación por debajo del intervalo adecuado para iniciar el proceso de la forma adecuada (COT/NT = 25-35). Esto es debido a que se pretendía compostar la máxima cantidad de estiércol con la proporción de agente estructurante mínima, que proporcionara una aireación y porosidad adecuadas para el intercambio gaseoso óptimo durante el proceso. Respecto a la evolución de este parámetro, se ha observado un descenso a lo largo del proceso de compostaje, que indica la estabilización de la MO de los residuos compostados. En relación, al valor final de la relación COT/NT en todos los compost se obtuvo un valor < 20 , lo cual indica un grado aceptable de madurez según los requerimientos para compost de la normativa (Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes). Sin embargo, este valor ya se había alcanzado en las muestras iniciales de estas pilas, con lo cual se tendrán que ver otros parámetros que indiquen que la estabilización de la MO se ha conseguido.

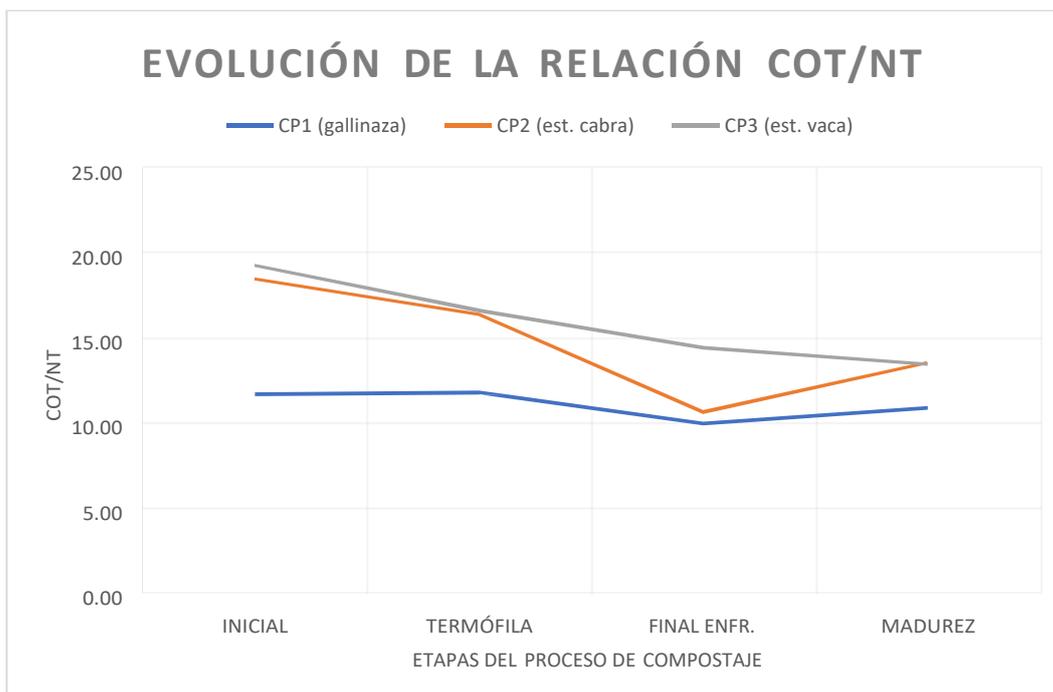


Figura 24. Evolución de la relación COT/NT durante el proceso de compostaje en las tres pilas: CP1:37,6%paja+32,7%gallinaza+29,7% de poda; CP2: 37,6%paja+32,7%estiércol de cabra+29,7% de poda; CP3: 37,6%paja+32,7%estiércol de vaca+29,7% de poda.

4.3. EVOLUCIÓN DE LA FRACCIÓN HIDROSOLUBLE

4.3.1. pH

Podría decirse, de una manera general, que el pH inicial de la mezcla no tiene que ser un impedimento para el proceso; pero sí es cierto que un valor extremo, aparte de indicar algún problema en el origen del residuo, puede limitar el tipo de actividad biológica y, por tanto, influir en el desarrollo (velocidad, tipo de reacciones) del proceso. Así, valores de pH iniciales inferiores a 5 son tóxicos para ciertos grupos de microorganismos (en particular para los termófilos) debido a que a este pH los ácidos orgánicos que pueden existir están en forma disociada. Valores de pH extremos en la zona básica, además de afectar al tipo de microorganismos, afecta a los equilibrios ácido-base que influyen en la conservación del nitrógeno (Eklind y Kirchmann, 2000; Smars et al., 2002; Sundberg et al., 2004).

En las tres pilas de mezcla los pH iniciales son elevados: pH (CP1)=8,34; pH(CP2)=8,19 y pH(CP3)=9,61, pudiendo suponer el pH de CP3 algún tipo de los inconvenientes expuestos (figura 25). Esta elevada basicidad se debe al pH elevado de los estiércoles de partida ya que los pH del resto de materiales son más bien neutros siendo sus valores de: pH(paja)=6,93; pH(poda)=6,73, mientras que el caso de los estiércoles los valores de pH son: pH(gallinaza)=8,64; pH(estiércol de cabra)=8,28; pH(estiércol de vaca)=10,21

En la etapa inicial del proceso, el pH de la CP3 con un valor de 9,61, que es el más elevado, desciende a lo largo del proceso. Sin embargo, en las pilas CP1 y CP2 se observa un aumento del pH durante el compostaje, debido a la degradación de compuestos de carácter ácido tales como grupos fenólicos y carboxílicos, y a la mineralización de proteínas, aminoácidos y péptidos a amoníaco (Paredes y col., 2000). Los valores finales de pH de todos los compost son bastante altos. Por lo tanto, se tendrán que adicionar productos de carácter ácido como azufre micronizado, para que la aplicación agronómica de estos compost no se vea perjudicada.

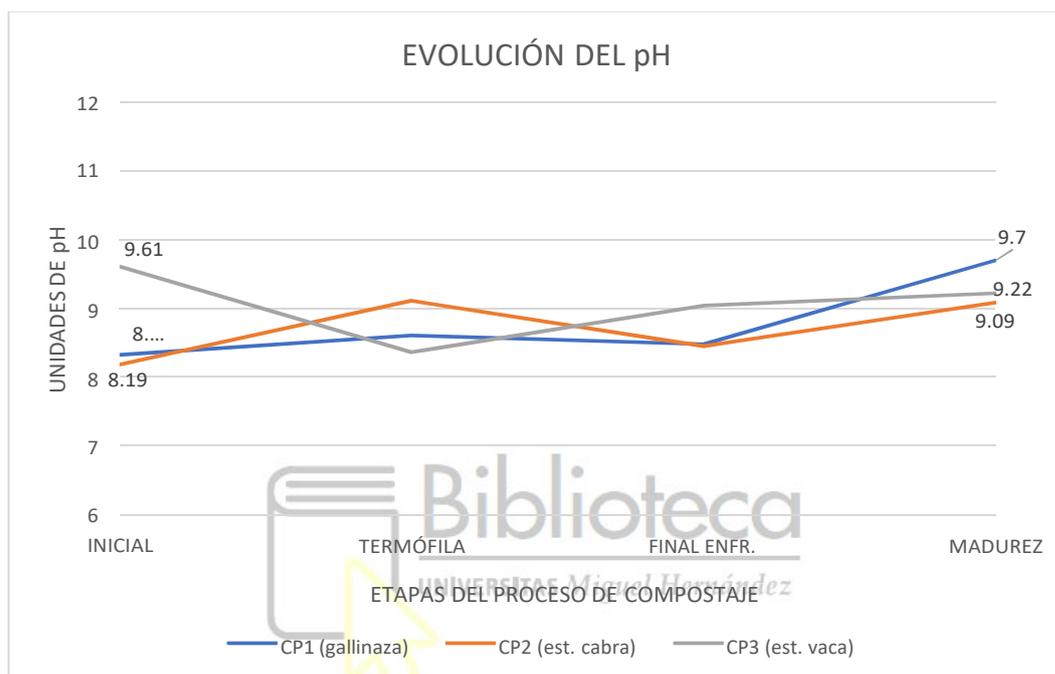


Figura 25. Evolución de los valores de pH durante el proceso de compostaje para las tres pilas del estudio: CP1:37,6%paja+32,7%gallinaza+29,7% de poda; CP2: 37,6%paja+32,7%estiércol de cabra+29,7% de poda; CP3: 37,6%paja+32,7%estiércol de vaca+29,7% de poda.

4.3.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes. Ocurre a veces 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 (Paredes y col, 2000). En la figura 26 se expone la evolución de la CE de las tres pilas de estudio durante el proceso de compostaje, donde se puede observar estos aumento y disminuciones de este parámetro. Al final todos los compost presentan un contenido de sales mayor que el que presenta la mezcla inicial de residuos, con valores de CE altos (CE final (CP1) = 7,60 dS/m; CE final (CP2) = 5,65 dS/m; CE final (CP3)= 7,46 dS/m), pudiendo este hecho limitar su uso como

fertilizantes orgánicos en cultivos sensibles a la salinidad o en suelos con problemas de salinización. No obstante, la salinidad puede corregirse mediante lixiviación de las sales con abundante riego (Fornes y col. 2010).

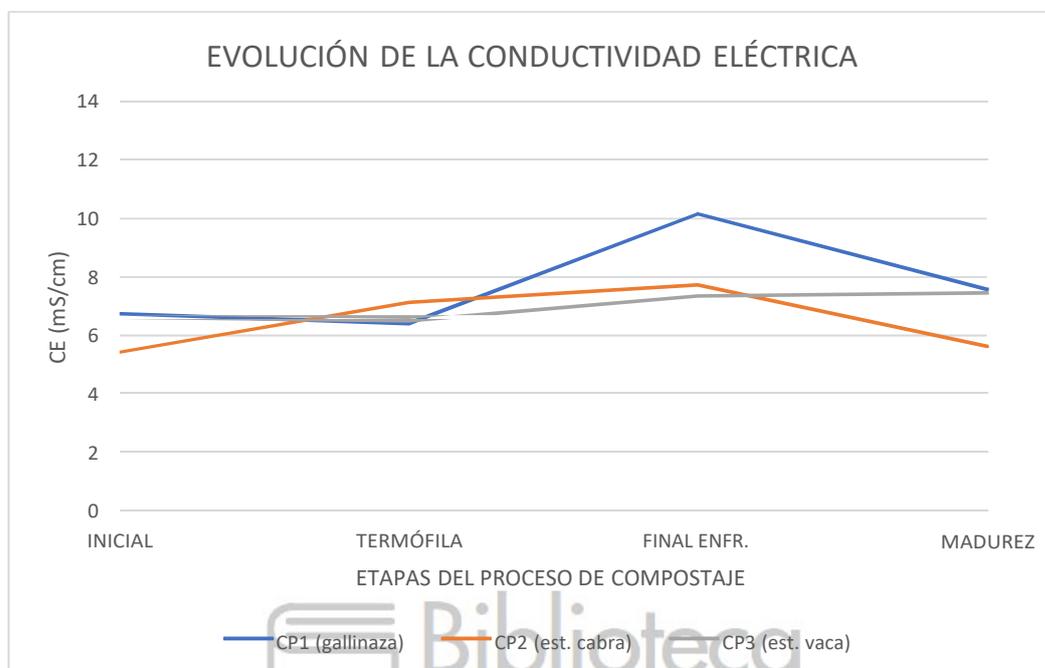


Figura 26. Evolución de la conductividad eléctrica durante el proceso de compostaje para las tres pilas del estudio: CP1:37,6%paja+32,7%gallinaza+29,7% de poda; CP2: 37,6%paja+32,7%estiércol de cabra+29,7% de poda; CP3: 37,6%paja+32,7%estiércol de vaca+29,7% de poda.

4.4. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS COMPOST OBTENIDOS

En cuanto a la valoración agronómica de los compost obtenidos la tabla 10 se encuentran los resultados de los compost obtenidos. En todos los compost, los contenidos de humedad estuvieron por debajo del valor máximo establecido por la normativa para compost (Humedad <40%; Real Decreto 506/2013). Sin embargo, los valores de pH y CE fueron altos, siendo estos parámetros los principales limitantes para el uso agrícola de estos compost. También en todos los compost, el contenido de MOT estuvo por debajo del valor mínimo de porcentaje de materia orgánica establecido por la legislación (MOT > 35%; Real Decreto 506/2013), estando más cercanos a este valor límite los compost CP1 y CP2. Respecto al contenido de macronutrientes el compost CP1 fue el que presentó una mayor capacidad fertilizante, ya que sus contenidos de NT, P y K fueron los más altos. Además, los contenidos de metales pesados estuvieron, en general, por debajo de los marcados para clasificar el compost como clase A, excepto en el caso de los contenidos de Ni que fueron en todos los compost mayores que los establecidos para esta clasificación (Ni < 25 mg/kg), así como el compost CP1 presentó valores de Zn por encima de los permitidos para la clasificación A (Zn < 200 mg/kg). Por lo tanto, la clasificación de los

compost obtenidos tuvo que ser B. Finalmente, la presencia de microorganismos patógenos estuvo por debajo de los requerimientos de la normativa para asegurar la higienización de los compost (E. coli < 1000 NMP/g y Salmonella = ausente en 25 g de producto; Real Decreto 506/2013). Esto indicó que las temperaturas desarrolladas durante al etapa termófila fueron adecuadas para la reducción de patógenos, contribuyéndose así a la higienización del producto final obtenido.

Tabla 10. Valores de los principales parámetros físico-químicos y químicos de los compost obtenidos

DETERMINACIONES ANALÍTICAS	COMPOST 1	COMPOST2	COMPOST3
Humedad %(p/p)	33,9	27,2	16,39
MS %(p/p)	66,1	72,8	83,6
C.E. 25°C en extracto 1/5 (v/v)(mS/cm)	7,6	5,65	7,46
pH en extracto 1/10 (p/v)	9,7	9,09	9,22
Cenizas %(p/p)	69,8	68,1	70,3
MOT %(p/p)	30,2	31,9	29,7
COT %(p/p)	17,51	18,52	17,22
Nitrógeno Total %(p/p)	1,61	1,37	1,28
Fósforo Total %(p/p)	1,98	0,792	0,722
Potasio Total %(p/p)	2,95	1,993	2,58
Cadmio total mg/kg	<0,50	<0,50	<0,50
Cobre total mg/kg	52,6	32,9	49,9
Cromo total mg/kg	60	48,1	82
Mercurio total mg/kg	<0,200	<0,200	<0,200
Níquel total mg/kg	48,8	44,6	59,2
Plomo total mg/kg	<2,00	<2,00	<2,00
Cromo VI mg/kg	n.d.*	n.d.*	n.d.*
Zinc total mg/kg	312	124	97,4
E. coli (NMP/g)	< 58	< 58	< 58
Salmonella (presencia)	n.d.	n.d.	n.d.

*n.d.: no detectado. Límite de cuantificación<0,5 mg/kg

5. CONCLUSIONES.

A lo largo del compostaje las características de las mezclas que se han tratado han sufrido una serie de transformaciones, al interpretarse de forma adecuada, han permitido el control de los procesos y la aplicación de las correcciones necesarias en éstos, que se han llevado a cabo exclusivamente mediante volteos periódicos y riegos de las diferentes pilas estudiadas cuando los resultados observados lo han aconsejado. Las principales conclusiones a las que se puede llegar son las siguientes:

- * El desarrollo de la temperatura durante el proceso de compostaje ha sido adecuado para obtener compost higienizados.
- * El control de la humedad durante la fase bio-oxidativa debería de ser más exhaustivo para evitar tener periodos con porcentajes de humedad < 40 %, que afectan de forma negativa a la actividad microbiana. Sin embargo, el control de la humedad durante el periodo de maduración fue adecuado, consiguiéndose compost con porcentajes de humedad menores que los valores máximos exigidos en la normativa para compost.
- * La degradación de los residuos ha sido alta durante el proceso de compostaje con un porcentaje de pérdida de materia orgánica entre 37,6-44,8%, obteniéndose compost con un contenido de materia orgánica por debajo del valor mínimo indicado en la normativa para compost.
- * Esta degradación intensa de la materia orgánica ha conllevado a la obtención de compost con valores de pH y conductividad eléctrica altos, que son los factores más importantes para la limitación del uso agrícola de los compost.
- * El material más rico en nitrógeno ha resultado ser el compost obtenido con gallinaza, luego el obtenido con estiércol de cabra y, en tercer lugar, el compost obtenido a partir del estiércol de vaca.
- * El compost con mayor capacidad fertilizante fue el elaborado con gallinaza.
- * Los compost obtenidos se han clasificado como B, respecto a su contenido de metales pesados, no habiendo por ello limitaciones de la cantidad de aplicación de los mismos por hectárea y año.

Por lo tanto, como conclusión global se puede indicar que el co-compostaje de los estiércoles estudiados con los residuos vegetales ensayados es un método adecuado para el tratamiento de estos residuos y la obtención de compost con potencial uso agrícola. La optimización del proceso en este caso de estudio ha priorizado la obtención de un material de calidad sobre el hecho de encontrar las condiciones de operación que permitan el mínimo tiempo de las reacciones de la fase de descomposición. Si éste fuera el caso, como podría establecerse para fases más a largo plazo de un determinado proyecto, habría que trabajar con tecnologías que permitieran tener la masa en descomposición en recinto cerrado y en condiciones controladas de aireación, humedad y temperatura, pudiendo así obtener tiempos de descomposición de pocas semanas, además de reducir el espacio requerido. Sin embargo, estas tecnologías son de un coste inicial y de mantenimiento elevados por lo que se requeriría contar con las cooperativas o asociaciones productoras de la zona.

6. BIBLIOGRAFÍA

- * **AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE (EEA), 2006.**
<https://www.eea.europa.eu/es/themes/waste>
- * **AEPLA. 2019.** Informe de PwC del sector agrícola español. Claves para construir un sector sostenible económica, social y medioambientalmente'. Aepla (Asociación empresarial para la protección de las plantas) https://www.aepla.es/wp-content/uploads/2020/08/Informe_Sector_Agricola.pdf
- * **Afonso, S., Arrobas, M., Pereira, E.L., Rodrigues, M.A. 2021.** Recycling nutrient-rich hop leaves by composting with wheat straw and farmyard manure in suitable mixtures. *Journal of Environmental Management* 284, 112105
- * **Ali, M., Kazmi, A. A., & Ahmed, N. (2014).** Study on effects of temperature, moisture and pH in degradation and degradation kinetics of aldrin, endosulfan, lindane pesticides during full-scale continuous rotary drum composting. *Chemosphere*, 102, 68-75.
- * **Anuario de Estadística, 2019.** Efectivos y producciones ganaderas. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2019/default.aspx?parte=3&capitulo=08> (Fecha de acceso 28/7/2020).
- * **Barral, M.T., 2011 .** El compostaje en el ámbito rural: de la gestión de residuos al aprovechamiento de recursos. *Gestión de Residuos de uso Agrícola*. 19, 63.002.68
- * **Barral, M.T.; Moldes, A.B.; Cendón, Y. & Díaz-Fierros, F. (2006).** Residuos sólidos urbanos gallegos como alternativa económica a la turba para la elaboración de sustratos. *Residuos*. 89: 44-49.
- * **Beloso, M.C.S. (1991).** Estudio de la gallinaza como fertilizante agrícola. Tesis Doctoral. pp: 313
- * **Bernal, M.P.y Gondar, D.M., 2008.** Producción y gestión de los residuos orgánicos: situación actual a nivel mundial, comunitario y estatal. En: Moreno J, Moral R (Eds.). *Compostaje*, pp. 12-39. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- * **Bernal, M.P.; Navarro A.F.; Sánchez-Monedero M.A.; Roig A. y Cegarra J. 1998b.** Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen stadístican in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 305-313.

- * **Bernal, M.P.; Paredes C., Sánchez-Monedero M.A. y Cegarra J. 1998^a.** Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 63: 91-99.
- * **Bertrand, M. (1993).** Caracterización y gestión de los estiércoles sólidos y licuados. En: *Residuos ganaderos*. Fundación "La Caixa". Barcelona. Pp 327-338.
- * **Bidlingmaier, W. (2006).** Organic waste – a resource or a fat. *ORBIT* 2006. Biological waste management-From local to Global, Weimar (Alemania).
- * **Blázquez, M.A. 2003a.** Capítulo XV. Los residuos agrícolas y de origen animal. En: *Los residuos urbanos y asimilables*. Consejería del medio ambiente. Junta de Andalucía.
- * **BOC n°48, 19/04/00.** Real Decreto del Gobierno de Canarias 49/2000, de 10 de abril, por el que se determinan las masas de agua afectadas por la contaminación de nitratos de origen agrario y se designan las zonas vulnerables.
- * **BOE. 2005.** Real Decreto N° 824 sobre productos fertilizantes. BOE N° 171, 25592-25669, Ministerio de la Presidencia. España.
- * **Burton, C., Turner, H., 2003.** Manure Management. Treatment strategies for sustainable agriculture. "2nd Ed. Silsoe Research Institute, Bedford, p. 451.
- * **C. M. Frutos, S. D. Tejera, M. S. Encarnación , B. M. M Ángeles, M. Casco Joaquín, M. Herrero Raul, 2008.** Importancia de los materiales iniciales en los Procesos de Compostaje. Caracterización Físicoquímica de su Fracción hidrosoluble' Compostaje. Ed. Mundi Prensa, Madrid. 570 pp.
- * **Comisión Europea, 2010.** Informe sobre la aplicación de la Directiva 91/676/CEE del Consejo, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, basado en los informes de los Estados miembros correspondientes al período 2004-2007, COM(2010)47 final, de 9.2.2010, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0047:FIN:ES:PDF>
- * **Comisión de las Comunidades Europeas (2001).** Working Document: Biological Treatment of Biowaste, 2nd draft. Bruselas.
- * **Comisión de las Comunidades Europeas (2002).** Hacia una estrategia temática para la protección del suelo. Comunicación de la Comisión al Consejo, el Parlamento Europeo, el Comité Económico y Social y el Comité de las Regiones. Bruselas.
- * **Comisión Europea.** Plan de acción orgánica.

<https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/organic-farming/organic-action-planes#legal-basis>

- * **Comisión Europea.** Pacto Verde Europeo (2019). https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es
- * **Consejo de la Unión Europea (1991).** Directiva relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. DOCE L 375 de 31- 12-91.
- * **Consejo de la Unión Europea (1999).** Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos. DOCE L 182/1 de 16-7-1999.
- * **Costa, F.; García C.; Hernández T. y Polo A. 1991.** Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. CSIC-CEBAS, Murcia, España. 181 pp.
- * **Cooperband, L. 2000.** Sustainable use of by-products in land management. En: Bartels, J.M. y Dick W.A. (eds.). Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products. SSSA Book Series No 6, Madison, EEUU. Pp. 215-235.
- * **Cooperband, L.R. y Middleton J.H. 1996.** Changes in chemical, physical and biological properties of passively-aerated cocomposted poultry litter and municipal solid waste compost. *Compost Science and Utilization* 4: 24-34.
- * **Cooperband, L. y Good L.W. 2002.** Biogenic phosphate minerals in manure: implications for phosphorus loss to surface waters. *Environmental Science and Technology* 36: 5075-5082.
- * **Cooperband, L.R.; Stone A.G.; Fryda M.R. y Ravet J.L. 2003.** Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. *Compost Science and Utilization* 11: 113-124.
- * **Coppenet, M. (1974).** L'épandage du lisier de porcheire. Ses conséquences agronomiques. *Annales*
- * **Council Directive. 1986.** CEC-Council of the European Communities. Council directive on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. 86/278/EEC.
- * **Danés, R. & Boixadera, J. (2001).** Aspectos generales a considerar en la planificación y gestión de la aplicación de residuos orgánicos al suelo. En: *Aplicación agrícola de residuos orgánicos.* (Boixadera, J. y Teira, M.R, Eds.) Universitat de Lleida.
- * **Díaz-Burgos, M.A., Ceccanti, B. & Polo, A. (1993).** Monitoring biochemical activity during sewage sludge composting. *Biological Fertil. Soils.* 16: 145-150.

- * **Domínguez, M. (2004).** Avaluación do compost como emenda orgánica en solos de cultivo de Galicia. Tesis doctoral. Universidad de Santiago.
- * **Domínguez, M. & Barral, M.T. (2004).** A xestión dos residuos orgánicos municipais: o compost. Concellaría de Medio Ambiente. Concello de Santiago de Compostela.
- * **Dupuis, I., 2012.** Producción y consumo responsable y residuos agrarios, Informe 2010, Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. www.magrama.gob.es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/Estudio-Produccion-consumo-sostenibles-agrarios.aspx
- * **ECAF, 2020. European Conservation Agriculture Federation.** <https://ecaf.org/> (Fecha de acceso 29/7/2021).
- * **Edwards, C.A. (1995).** Historical overview of vermicomposting. Biocycle. 36: 56-58.
- * **El Futuro del Sector Agrícola español.** Aepla (Asociación Empresarial para la Protección de las Plantas) <https://www.pwc.es/es/publicaciones/assets/informe-sector-agricola-espanol.pdf>
- * **Estado español (2001). Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre,** por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. BOE 25 de 29 de Enero de 2002.
- * **Estado Español (2005).** Real Decreto 824/2005, de 8 de Julio, sobre productos fertilizantes. BOE 171/2005, de 19 de Julio.
- * **European Comission.** Cap Specific Objectives. Brief N°5. https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farmingfisheries/key_policies/documents/cap-specific-objectives-brief-5-soil_en.pdf
- * **EUROSTAT.** European Statistical Recovery Dashboard. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>
- * **FAO, 2014.** Bioenergía y Seguridad Alimentaria. Residuos agrícolas y residuos ganaderos. <http://www.fao.org/3/bp843s/bp843s.pdf>
- * **FAOSTAT.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

- * **Felipo, MT (1996)** Compost as a source of organic matter in Mediterranean soils. In: The Science of Composting. Eds.: M de Bartoldi et al pub Blackie Academic & Professional.
- * **Flotats, X. (2002).** La digestió anaeròbica com a alternativa de tractament o com a procés previ al procés de compostatge. En: Quarta jornada tècnica sobre la gestió de residus municipals: El compostatge. Universitat Politècnica de Catalunya. 41-57.
- * **Frutos C..** Técnicas instrumentales avanzadas en el estudio de la materia orgánica en procesos de compostaje. Máster en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos. Universidad Miguel Hernández. Elche.
- * **García, L y Soriano, E., 2020.** Tesis doctoral: Compostaje y vermicompostaje de residuos agrícolas. Su papel en la eliminación de fármacos en el sistema suelo-planta y sobre el desarrollo vegetal. Facultad de Farmacia. Dpto. de Biología Vegetal.
- * **García, C., 2021.** El suelo y sus relaciones. Microbioma Academy. Murcia.
- * **Gavanas, C., 2021.** Situación del sector agrícola en España. Euroganadería. [http://www.euroganaderia.eu/ganaderia/euroganaderia/situacion-del-sector-agricola_717_0_0_0_1_54652_0_in.html#lightbox\[717\]/0/](http://www.euroganaderia.eu/ganaderia/euroganaderia/situacion-del-sector-agricola_717_0_0_0_1_54652_0_in.html#lightbox[717]/0/)
- * **Gavilanes-Terán, I., Jara-Samaniego, J., Idrovo-Novillo, J., Bustamante, M., Pérez-Murcia, M.D., Pérez-Espinosa, A., Lopez, M., Paredes, C., 2017.** Agroindustrial compost as a peat alternative in the horticultural industry of Ecuador. J. Environ. Manag. 186, 79-87
- * **Gavilanes-Terán, I., Jara-Samaniego, J., Idrovo-Novillo, J., Bustamante, M. A., Moral, R., Paredes, C. (2016).** Windrow composting as horticultural waste management strategy—a case study in Ecuador. Waste management, 48, 127-134
- * **Generalitat Valenciana.** Conselleria de infraestructuras, territorio y medio ambiente. Residuos agropecuarios. <https://agroambient.gva.es/documents/20549779/161513659/14.+Residuos+agropecuarios/5614cf79-d0d7-4543-a5bf-aa493d759d84>
- * **Haug, R.T. (1993).** The practical handbook of compost engineering. Lewis Publishers.
- * **Herguedas, A.I., 2012.** Biocombustibles (II). Transbiomasa FP. Ed. Itagra. CT.
- * **Hoitink, H.A.J.; Stone A.G. y Grebus M.E. 1996.** Suppression of plant diseases by composts. En: De Bertoldi M., Sequi P., Lemmes B. y Papi T. (eds.).The Science of

Composting. Blackie Academic & Professional, Glasgow, Inglaterra. Vol. 1: 373-381.

- * **Houot, S. ; Bodineau G. ; Rampon J.N. ; Annabi M. ; Francou C. y Poitrenaud M. 2005.** Agricultural use of different residual waste composts – current situation and experiences in France. En: Proceedings of the Conference: “The Future of Residual Waste Management in Europe”, ORBIT e.V., Weimar, Alemania. 8 pp.
- * **Hue, N.V., Liu, J. (1995).** Predicting composting stability. *Compost Sci, Util.*, 3:8-15.
- * **Iglesias, E. & Pérez, V. (1989).** Evaluation of city refuse compost maturity. A review. *Biol. Wastes.* 27: 115-142.
- * **Iniciativa 4 por 1000, 2020.** <https://www.4p1000.org/es> (Fecha de acceso 29/7/2021)
- * **Instituto Nacional de Estadística.**
https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operación.htm?c=estadistica_C&cid=1254736176844&menu=ultiDatos&idp=1254735976612
- * **Instituto Nacional de Estadística (INE),** Censo agrario de España 1999. Resultados nacionales, por comunidad autónoma y provincias, 2002, [En línea], Madrid. [consulta el 18.10.2010].
- * **INE 2010-2018.** Volumen de residuos vegetales gestionados en España. *Statista* 20-21.
- * **Informe anual de indicadores. Agricultura, pesca y alimentación, 2019.**
https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/informeanual2019_online_tcm30-547983.pdf
- * **IPCC. 2006.** Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> (Fecha de acceso 03/09/2021).
- * **Jenner, M.W. (1997).** Reinventing manure: managing nutrients by adding value. AFBF Agricultural/Community Watershed Heros Conference Amana, IA. pp. 5.
- * **Junta de Andalucía, 2003.** Los residuos agrícolas y de origen animal.
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/educacion_ambiental/EducamIV/publicaciones/rua15.pdf

- * **Kwak, W.S. & Kang, J.S. (2006).** Effect of feeding food waste-broiler litter and bakery by-product mixture to pigs. *Bioresource Technology*. 97:243-249.

- * **La cumbre de París (COP21), Marrakech (COP22) y la Iniciativa 4 por 1000** FAO, 1982. Agricultural residues: bibliography 1975-81 and quantitative survey. *FAO Agricultural Services Bulletin*.

- * **Lal, R. (2000).** Soil conservation and restoration to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Man and Soil at the Third Millenium*. Proc. Third Int. Congress of the European Soc. for Soil Conservation, 37-51.

- * **Lavado, R., 2012.** Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. I, 3-12. Ed. U.N. Río Negro-O.G.E.

- * **López, M. J., Moreno, J., Mormeneo, S.** Máster Universitario en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos. Aspectos físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Unidad temática 3. Aspectos bioquímicos Evaluación de la calidad. Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos. Universidad Miguel Hernández.

- * **López, M.J. y Boluda, R, 2008.** Residuos agrícolas. En: Moreno J, Moral R (Eds. Científicos). *Compostaje*, pp. 491-515. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

- * **Macías Vázquez.** Laboratorio de Tecnología Ambiental, Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Universidad de Santiago de Compostela, 15782, Santiago de Compostela.

- * **MAPA (2004).** Anuario de estadística agraria. Servicio de Publicaciones de MAYPA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España a. https://www.mapa.gob.es/estadistica/pags/anuario/2004/AE_2004_03.pdf

- * **MAPA (2005).** Anuario de Estadística Agroalimentaria 2005. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

- * **MAPA. Encuestas ganaderas. (2006).**
https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/2006_Resultados_tcm30-122133.pdf

- * **MAPA (2019).** Anuario de estadística. Cabaña ganadera.
<https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/default.aspx>

- * **Masaguer, A., López, A., Carmona, E., Fornés, F., Ordovás, J., Gómez, M.A., Moreno, M.T., Marfá, O., Cáceres, R., López, R. y Belda, R., 2015.** De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. Ediciones Mundi-Prensa.

- * **M.J. negro, F. villa, J. aibar, R. alarcón, P.ciria, M.V. cristóbal, A. de benito, A. García Martín, G. García Muriedas, C. labrador, C. lacasta, J.A lezaún, R. meco, G. pardo, M.L. solano, C. torner, C. zaragoza, 2000.** Producción y gestión del Compost. Ciemat.
- * **Martínez Farré, F.X. 1995.** Materiales y sustratos. Revista Horticultura, 103-Febrero 1995.
- * **Martínez, F.X. 2006.** Gestión y tratamiento de residuos agrícolas. infoAgro.com.
- * **Mazzarino, M.J., Satti, P. y Roselli, L., 2012.** Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. II, 13-25.
- * **Ministerio Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2020b.** Biorresiduos. (Fecha de acceso 28/7/2021). <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/biorresiduos/>
- * **Ministerio Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2020a. Sector agrícola y ganadero.** <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/agricola.aspx> (Fecha de acceso 28/7/2021)
- * **Moldes, A.B.; Cendón, Y.; López, E. & Barral, M.T. (2006).** Biological quality of potting media based on MSW composts: a comparative study. Compost Sci. & Util. 14: 296-302.
- * **Moreno Casco, Joaquín y Moral Herrero, Raúl, 2011.** Compostaje . Ediciones Mundi-Prensa (2011).
- * **M.E. López-Mosquera · E. Carral · A. López-Fabal · M.T. Rodríguez-López · M.J. Bande · F. Cabaleiro · E. Carballo · J. García-Fernández · R. Gómez-Sánchez · M.P. Ferreira · M. Matos · M.J. Sainz. 2011.** Potencial fertilizante del estiércol deshidratado y granulado de pollo en cultivos hortícolas y forrajeros. Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola. 14: 119-130
- * **M.P. Bernal, C. Paredes, M.A. Sánchez-Monedero & J. Cegarra. 1997.** Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes.
- * **M.T.Barral, 2011.** Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola. El compostaje en el ámbito rural: de la gestión de residuos al aprovechamiento de recursos, 19: 185-197.
- * **Objetivos específicos de la PAC.** Gestión eficiente del suelo.

https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/cap-specific-objectives-brief-5-soil_en.pdf

- * **Orden APA/161/2020, de 20 de febrero, por la que se modifican los anexos I, III y VI del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.** Boletín Oficial del Estado. 48 (sec I), 16865- 16872.
- * **Paradelo, R.; Cendón, Y.; Moldes, A.B. & Barral, M.T. (2006).** Restauración de escombreras de pizarra con vermicompost de orujo de uva agotado. Residuos 90: 44-50.

- * **Paredes, C., Roig, A., Bernal, M.P., Sánchez-Monedero, M.A., Cegarra, J., 2000.** Evo-lution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive millwastewater with solid organic wastes. Biol. Fert. Soils 32, 222–227.

- * **Pérez, M.D. y Pérez, A., 2008.** I. Residuos orgánicos de origen agrícola y ganadero. Máster en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos. Universidad Miguel Hernández. Elche.

- * **Montserrat P.G., Arturo F.C.P.** Tecnologías para el tratamiento de los residuos biodegradables (T.IV). Aspectos técnicos en el desarrollo y control del proceso de compostaje. Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos. Universidad Miguel Hernández.

- * **Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.** Boletín Oficial del Estado. 164 (sec I), 51119- 51207.

- * **Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.** Boletín Oficial del Estado. 296 (sec I), 119396 - 119450.

- * **Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019,** por el que se establecen disposiciones relativas a la puesta a disposición en el mercado de los productos fertilizantes UE y se modifican los Reglamentos (CE) nº 1069/2009 y (CE) nº 1107/2009 y se deroga el Reglamento (CE) nº 2003/2003. Diario Oficial de la Unión Europea. L 170, 1- 114.

- * **Santos Cuadros, 2008.** Residuos agrícolas, forestales y lodos. Contaminación de residuos. EOI.

- * **SEAE, 2020. Datos estadísticos de producción ecológica en España (2019).** <https://www.agroecologia.net/datos-estadisticos-produccion-ecologica-espana-2019/> (Fecha de acceso 28/7/2021)

- * **Solé, F. y Flotats, X. 2004.** Guía de técnicas de gestión ambiental de residuos agrarios. Ed. Fundació Catalana de Cooperació. Lleida.

- * **Soliva, M. (2002).** Calidades del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso.
- * **Soliva, M., López M. y P. Óscar. (2008).** Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje. En: Moreno J, Moral R (Eds.). Compostaje, pp. 75-92. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- * **Stephenson, AH., McCaskey, T.A. & Ruffin, B.G. (1990).** A survey of broiler litter composition and potential value as a nutrient resource. *Biological Wastes*. 34: 1-9.
- * **Thambirajah, J.J., Zulkali, M.D. & Hashim, A.M. (1995).** Microbiological and biochemical changes during the composting of oil palm empty-fruit-bunches. Effect of nitrogen supplementation on the substrate. *Bioresource Technology*. 52, 2: 133-144.
- * **Thibaudeau, S. (1997).** Fumier solide ou liquid: quelle est la différence?. En *Soil/Fumier*, octubre, nº18. Pp. 32-35.
- * **Tiquia, S.M., 2005.** Microbial parameters as indicators of compost maturity. *J. Appl. Microbiol.*
- * **Torrecillas, C. 2015.** Tesis doctoral de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Estudio de parámetros de calidad en materiales de naturaleza orgánica con potencial uso en agricultura.
- * **Val, Alfonso Del., 2005.** Guía para un consumo más responsable. Lanzarote: Fundación César Manrique, 165 pp.
- * **Val, Alfonso Del., 2013.** Del consumo de recursos a la generación de residuos. El enorme coste humano y ambiental de nuestro consumismo. *Documentación Social (Cáritas)*. 167.
- * **Zucconi, F. and De Bertoldi, M. (1987)** Compost Specifications for the Production and Characterization of Compost from Municipal Solid Waste.



Datos Cliente
Terracan Compost, S.L.

 c/ Bajada Guayrminas, 27
 35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)

Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio
Muestreo: Cliente

Recogida: Cliente - (Nacex)

Entrada: 07/04/2021 - 09:55 **Inicio:** 13/04/2021 **Finalización:** 16/04/2021

Ref.: PODA
Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:
Obs.:
ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología			
Humedad	10,92	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Materia seca	89,1	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	4,43	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038			
pH en extracto 1/10 (p/v)	6,76	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037			
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.				
Cenizas	11,43	%(p/p)	12,83	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039	
Materia orgánica total	77,6	%(p/p)	87,2	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039	
Carbono orgánico total	C	45,0	%(p/p)	50,6	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	N	1,31	%(p/p)	1,47	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2
Fósforo total	P2O5	0,265	%(p/p)	0,298	%(p/p)	PTA-FQ-029, Extracción basado en UNE-EN 15956, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Potasio total	K2O	2,82	%(p/p)	3,17	%(p/p)	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca.

(p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

C/N=34,35

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
 Bernardo Marín Romero

Director Técnico
 Antonio Abellán Caravaca


 Firmado digitalmente:
 Físicos Laboratorios
 S.L.
 Fecha emisión:
 16/04/2021 13:29:36

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados. Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

 FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
 Formato PG-14.03.IMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Gines-Murcia(España)

Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21040578
Nº Informe: 21040578.01



Los ensayos marcados con (*), (**), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guayrminas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Nacex)
Entrada: 07/04/2021 - 09:55 Inicio: 13/04/2021 Finalización: 16/04/2021

Ref.: PAJA

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología		
Humedad	9,45	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Materia seca	90,5	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	0,996	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038		
pH en extracto 1/10 (p/v)	6,93	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037		
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.			
Cenizas	7,15	%(p/p)	7,90	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total	83,4	%(p/p)	92,1	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total	48,4	%(p/p)	53,4	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	0,504	%(p/p)	0,556	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2
Fósforo total	0,0624	%(p/p)	0,0689	%(p/p)	PTA-FQ-029, Extracción basado en UNE-EN 15956, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Potasio total	1,443	%(p/p)	1,593	%(p/p)	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca.

(p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Caravaca



Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
Formato PG-14.03.IMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21040575
Nº Informe: 21040575.01



Los ensayos marcados con (*), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente	Ref.: CP-1	GALLINAZA
Terracan Compost, S.L.		
c/ Bajada Guayrminas, 27 35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)	Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)	
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas	Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.	
Datos Laboratorio	Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)	
Muestreo: Cliente		
Recogida: Cliente - (Nacex)	Condición:	
Entrada: 07/04/2021 - 09:55	Inicio: 13/04/2021	Finalización: 15/04/2021
	Obs.:	

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología		
Humedad	39,8	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Materia seca	60,2	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	7,11	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038		
pH en extracto 1/10 (p/v)	8,64	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037		
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.			
Cenizas	30,1	%(p/p)	50,0	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total	30,1	%(p/p)	50,0	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total	C 17,46	%(p/p)	28,99	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	N 2,02	%(p/p)	3,36	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2
Fósforo total	P2O5 2,13	%(p/p)	3,53	%(p/p)	PTA-FQ-029, Extracción basado en UNE-EN 15956, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Potasio total	K2O 3,23	%(p/p)	5,36	%(p/p)	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca. (p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Caravaca
Firmado digitalmente:
Fitosoil Laboratorios S.L.
Fecha emisión:
15/04/2021 16:09:32

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.
FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
Formato PC-14.03.IMP1 PoL.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21040576
Nº Informe: 21040576.01



Los ensayos marcados con (*), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guayrminas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Nacex)
Entrada: 07/04/2021 - 09:55 Inicio: 13/04/2021 Finalización: 16/04/2021

Ref.: CP-2 ESTIÉRCOL DE CABRA

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología		
Humedad	19,81	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Materia seca	80,2	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	5,94	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038		
pH en extracto 1/10 (p/v)	8,28	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037		
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.			
Cenizas	27,6	%(p/p)	34,4	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total	52,6	%(p/p)	65,6	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total	C 30,5	%(p/p)	38,1	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	N 1,93	%(p/p)	2,41	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2
Fósforo total	P2O5 0,881	%(p/p)	1,099	%(p/p)	PTA-FQ-029, Extracción basado en UNE-EN 15956, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Potasio total	K2O 4,75	%(p/p)	5,92	%(p/p)	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca.

(p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

C/N=15,80

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Caravaca



Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
Formato PG-14.03.IMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21040577
Nº Informe: 21040577.01



Los ensayos marcados con (*), (**), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (*) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guayrminas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)

Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente

Recogida: Cliente - (Nacex)

Entrada: 07/04/2021 - 09:55 Inicio: 13/04/2021 Finalización: 16/04/2021

Ref.: CP-3 ESTIÉRCOL DE VACA

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología			
Humedad	46,4	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Materia seca	53,6	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	7,16	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038			
pH en extracto 1/10 (p/v)	10,21	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037			
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.				
Cenizas	35,0	%(p/p)	65,4	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039	
Materia orgánica total	18,5	%(p/p)	34,6	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039	
Carbono orgánico total	10,76	%(p/p)	20,08	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático	
Nitrógeno total	N	0,638	%(p/p)	1,191	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2
Fósforo total	P2O5	0,389	%(p/p)	0,727	%(p/p)	PTA-FQ-029, Extracción basado en UNE-EN 15956, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Potasio total	K2O	2,32	%(p/p)	4,33	%(p/p)	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca.

(p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

C/N=16,87

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Caravaca



Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
Formato PG-14.03.IMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21040580
Nº Informe: 21040580.01



Los ensayos marcados con (*), (**), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guaymarinas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Náxos)
Entrada: 07/04/2021 - 09:55 Inicio: 13/04/2021 Finalización: 15/04/2021

Ref.: CP1-01 PILA C1(29,7%poda+32,7%gallinaza+29,7%paja)

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología		
	s.m.o.	s.m.s.			
Humedad	25,23	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Materia seca	74,8	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	6,76	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038		
pH en extracto 1/10 (p/v)	8,34	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037		
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.			
Cenizas	36,1	%(p/p)	48,3	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total	38,7	%(p/p)	51,7	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total	22,4	%(p/p)	30,0	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	1,92	%(p/p)	2,57	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca. (p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Depto. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abelán Caravaca
Firmado digitalmente:
Antonio Abelán Caravaca
Fecha emisión:
13/04/2021 16:08:36

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 - Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1244, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
Formato PC-14.03.MP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, pare.2427. Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30109 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21040581
Nº Informe: 21040581.01



Los ensayos marcados con (*), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

Ref.: CP2-01 29,7%poda+32,7%est.cabra+37,6%paja

c/ Bajada Guaymarinas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Nárex)
Entrada: 07/04/2021 - 09:55 **Inicio:** 13/04/2021 **Finalización:** 15/04/2021

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:
Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología		
	s.m.o.	s.m.s.			
Humedad	16,28	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Materia seca	83,7	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	5,44	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038		
pH en extracto 1/10 (p/v)	8,19	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037		
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.			
Cenizas	40,9	%(p/p)	48,9	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total	42,8	%(p/p)	51,1	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total	C 24,8	%(p/p)	29,7	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	N 1,35	%(p/p)	1,61	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca. (p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dept. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Ceravaca
Firma digitalmente
FITOSOIL
Fecha emisión:
15/04/2021 16:08:33

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbre está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 - Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Coligado por el COB con el Nº 6862-J
Formato PC-14.03.BMP1 Pol.Ind.Oeste, o/ Alcalde Clemente Garola, paro.24/27, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21040582
Nº Informe: 21040582.01



Los ensayos marcados con (*), (**), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

Ref.: CP3-01 29,7%poda+32,7%est.vaca+37,6%paja

c/ Bajada Guaymarinas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Nárex)
Entrada: 07/04/2021 - 09:55 Inicio: 13/04/2021 Finalización: 15/04/2021

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (1 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:
Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología			
	s.m.o.	s.m.s.				
Humedad	27,91	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Materia seca	72,1	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	6,64	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038			
pH en extracto 1/10 (p/v)	9,61	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037			
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.				
Cenizas	33,3	%(p/p)	46,2	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039	
Materia orgánica total	38,8	%(p/p)	53,8	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039	
Carbono orgánico total	C	22,5	%(p/p)	31,2	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	N	1,17	%(p/p)	1,62	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca. (p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dept. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Ceravaca
Firma digitalmente:
Firma electrónica:
13/04/2021 16:08:36

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 - Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colgado por el COB con el Nº 6882-J
Formato PC-14.03.BMP1 Pol.Ind.Oeste, o/ Alcalde Clemente Garola, paro.24/27, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21051086
Nº Informe: 21051086.01



Los ensayos marcados con (*), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guayrminas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Nacex)
Entrada: 06/05/2021 - 09:35 Inicio: 11/05/2021 Finalización: 17/05/2021

Ref.: CP1-02

Descripción: Compost (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología
	s.m.o.	s.m.s.	
Humedad	9,17	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C
Materia seca	90,8	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	6,43	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038
pH en extracto 1/10 (p/v)	8,62	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.	
Cenizas	45,4	%(p/p)	50,0 %(p/p) PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total	45,4	%(p/p)	50,0 %(p/p) PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total	26,33	%(p/p)	28,99 %(p/p) PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	2,24	%(p/p)	2,46 %(p/p) PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2

s.m.o: sobre muestra original, s.m.s: sobre muestra seca.

(p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Caravaca

Firmado digitalmente:
Físicos Laboratorios S.L.
Fecha emisión:
18/05/2021 13:34:16
FITOSOIL

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
Formato PC-14.03.IMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21051087
Nº Informe: 21051087.01



Los ensayos marcados con (*), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guayrminas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Nacex)
Entrada: 06/05/2021 - 09:35 Inicio: 11/05/2021 Finalización: 17/05/2021

Ref.: CP2-02

Descripción: Compost (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología
	s.m.o.	s.m.s.	
Humedad	12,25	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C
Materia seca	87,8	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	7,14	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038
pH en extracto 1/10 (p/v)	9,12	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.	
Cenizas	50,1	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total	37,7	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total	21,85	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	1,33	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2

s.m.o: sobre muestra original, s.m.s: sobre muestra seca.

(p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Caravaca

Firmado digitalmente:
Físicos Laboratorios
S.L.
Fecha emisión:
18/05/2021 13:34:18
FITOSOIL

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
Formato PC-14.03.JMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1



INFORME DE ENSAYO

Nº Muestra: 21051088
Nº Informe: 21051088.01



Los ensayos marcados con (*), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc... marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guayrminas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Nacex)
Entrada: 06/05/2021 - 09:35 Inicio: 11/05/2021 Finalización: 17/05/2021

Ref.: CP3-02

Descripción: Compost (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología
	s.m.o.	s.m.s.	
Humedad	10,28	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C
Materia seca	89,7	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	6,51	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038
pH en extracto 1/10 (p/v)	8,37	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.	
Cenizas	50,7	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total	39,0	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total	22,65	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	1,36	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2

s.m.o: sobre muestra original, s.m.s: sobre muestra seca. (p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
Bernardo Marín Romero

Director Técnico
Antonio Abellán Caravaca



Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
Formato PC-14.03.IMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37, Mód.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1

Los ensayos marcados con (*), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc...
 marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente
Terracan Compost, S.L.

 c/ Bajada Guayrminas, 27
 35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)

Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio
Muestreo: Cliente

Recogida: Cliente - (Nacex)

Entrada: 23/07/2021 - 10:01 **Inicio:** 04/08/2021 **Finalización:** 05/08/2021

Ref.: CP1-03
Descripción: Producto sólido (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Producto sólido (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:
Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología			
Humedad	27,5	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Materia seca	72,5	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	10,17	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038			
pH en extracto 1/10 (p/v)	8,49	Ud. pH	PTA-FQ-004, pHmetro, basado en UNE-EN 13037			
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.				
Cenizas	47,5	%(p/p)	65,4	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039	
Materia orgánica total	25,1	%(p/p)	34,6	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039	
Carbono orgánico total	C	14,6	%(p/p)	20,1	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	N	1,47	%(p/p)	2,02	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca. (p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
 Bernardo Marín Romero

Director Técnico
 Antonio Abellán Caravaca


Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones omitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.

Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
 Formato PC-14.03.IMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37. Mod.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1

Los ensayos marcados con (*), (***) y las opiniones, interpretaciones, etc...
 marcados con (**) no están amparados por la acreditación de ENAC.

Datos Cliente
Terracan Compost, S.L.

 c/ Bajada Guayrminas, 27
 35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio
Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Nacex)
Entrada: 23/07/2021 - 10:01 **Inicio:** 04/08/2021 **Finalización:** 05/08/2021

Ref.: CP2-03
Descripción: Producto sólido (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Producto sólido (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:
Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología			
Humedad	21,9	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Materia seca	78,1	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	7,74	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038			
pH en extracto 1/10 (p/v)	8,46	Ud. pH	PTA-FQ-004, pHmetro, basado en UNE-EN 13037			
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.				
Cenizas	52,0	%(p/p)	66,5	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039	
Materia orgánica total	26,2	%(p/p)	33,5	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039	
Carbono orgánico total	C	15,18	%(p/p)	19,43	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	N	1,43	%(p/p)	1,83	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca. (p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
 Bernardo Marín Romero

Director Técnico
 Antonio Abellán Caravaca


Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones omitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.
 Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
 Formato PC-14.03.IMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37. Mod.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1

Datos Cliente
Terracan Compost, S.L.

 c/ Bajada Guayarminas, 27
 35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)

Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio
Muestreo: Cliente

Recogida: Cliente - (Nacex)

Entrada: 23/07/2021 - 10:01 **Inicio:** 04/08/2021 **Finalización:** 05/08/2021

Ref.: CP3-03
Descripción: Producto sólido (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Producto sólido (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:
Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología			
Humedad	10,76	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Materia seca	89,2	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C			
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	7,36	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038			
pH en extracto 1/10 (p/v)	9,05	Ud. pH	PTA-FQ-004, pHmetro, basado en UNE-EN 13037			
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.				
Cenizas	55,5	%(p/p)	62,2	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039	
Materia orgánica total	33,7	%(p/p)	37,8	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039	
Carbono orgánico total	C	19,6	%(p/p)	21,9	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	N	1,35	%(p/p)	1,52	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca. (p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

Los análisis efectuados en este informe han seguido los procedimientos internos indicados en el campo "metodología". Estos procedimientos están basados en los métodos mencionados en el anexo IV del Reglamento (CE) 2003/2003 y el anexo VI del RD 506/2013 de 28 de junio, u otros equivalentes respaldados por ensayos de validación e intercomparativos.

Responsable Técnico Dpto. FÍSICO QUÍMICO
 Bernardo Marín Romero

Director Técnico
 Antonio Abellán Caravaca


Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones omitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.

Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

FITOSOIL LABORATORIOS, S.L. - CIF: ESB 30553085 Inscrito en el Reg. Mercantil de Murcia, Tomo-1344, MU-23384, Folio 111. Colegiado por el COB con el Nº 6862-J
 Formato PC-14.03.IMP1 Pol.Ind.Oeste. c/ Alcalde Clemente García, parc.24/37. Mod.D-1 y D-2 - Envío Postal: Apdo. Correos 200 - 30169 - San Ginés-Murcia(España) Página 1 de 1

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guayrminas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (nacex)
Entrada: 11/08/2021 - 09:55 Inicio: 13/08/2021 Finalización: 19/08/2021

Ref.: CP1 - 04

Descripción: Compost (1.2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (1.2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES		Resultado		Metodología	
Humedad		33,9	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C	
Materia seca		66,1	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C	
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)		7,60	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038	
pH en extracto 1/10 (p/v)		9,70	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037	
Nutrientes		s.m.o.	s.m.s.		
Cenizas		46,1	%(p/p)	69,8	%(p/p)
Materia orgánica total		19,9	%(p/p)	30,2	%(p/p)
Carbono orgánico total	C	11,57	%(p/p)	17,51	%(p/p)
Nitrógeno total	N	1,06	%(p/p)	1,61	%(p/p)
Fósforo total	P2O5	1,305	%(p/p)	1,98	%(p/p)
Potasio total	K2O	1,948	%(p/p)	2,95	%(p/p)
Metales pesados		s.m.o.	s.m.s.		
Cadmio total	Cd	< 0,334	mg/kg	< 0,50	mg/kg
Cobre total	Cu	34,8	mg/kg	52,6	mg/kg
Cromo total	Cr	39,6	mg/kg	60,0	mg/kg
Mercurio total	Hg	< 0,133	mg/kg	< 0,200	mg/kg
Níquel total	Ni	32,2	mg/kg	48,8	mg/kg
Plomo total	Pb	< 1,33	mg/kg	< 2,00	mg/kg
Cromo VI	Cr(VI)	n.d. ¹	mg/kg	n.d. ¹	mg/kg
Zinc total	Zn	206	mg/kg	312	mg/kg

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca.

(p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

¹ n.d.: no detectado. Límite de cuantificación <0,5 mg/kg s.m.o.

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados. Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guayrminas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)

Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente

Recogida: Cliente - (nacex)

Entrada: 11/08/2021 - 09:55 Inicio: 13/08/2021 Finalización: 19/08/2021

Ref.: CP2 - 04

Descripción: Compost (1.2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Compost (1.2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES		Resultado		Metodología	
Humedad		27,2	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C	
Materia seca		72,8	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C	
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)		5,65	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038	
pH en extracto 1/10 (p/v)		9,09	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037	
Nutrientes		s.m.o.	s.m.s.		
Cenizas		49,6	%(p/p)	68,1	%(p/p)
Materia orgánica total		23,3	%(p/p)	31,9	%(p/p)
Carbono orgánico total	C	13,49	%(p/p)	18,52	%(p/p)
Nitrógeno total	N	1,00	%(p/p)	1,37	%(p/p)
Fósforo total	P2O5	0,577	%(p/p)	0,792	%(p/p)
Potasio total	K2O	1,452	%(p/p)	1,993	%(p/p)
Metales pesados		s.m.o.	s.m.s.		
Cadmio total	Cd	< 0,367	mg/kg	< 0,50	mg/kg
Cobre total	Cu	23,9	mg/kg	32,9	mg/kg
Cromo total	Cr	35,1	mg/kg	48,1	mg/kg
Mercurio total	Hg	< 0,147	mg/kg	< 0,200	mg/kg
Níquel total	Ni	32,5	mg/kg	44,6	mg/kg
Plomo total	Pb	< 1,47	mg/kg	< 2,00	mg/kg
Cromo VI	Cr(VI)	n.d. ¹	mg/kg	n.d. ¹	mg/kg
Zinc total	Zn	90,2	mg/kg	124	mg/kg

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca.

(p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

¹ n.d.: no detectado. Límite de cuantificación <0,5 mg/kg s.m.o.

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados. Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.

Datos Cliente

Terracan Compost, S.L.

c/ Bajada Guayrminas, 27
35460 Gáldar Las Palmas (ESPAÑA)
Interlocutor: Concepción Santiago Cubas

Datos Laboratorio

Muestreo: Cliente
Recogida: Cliente - (Nacex)
Entrada: 23/07/2021 - 10:01 **Inicio:** 02/08/2021 **Finalización:** 10/08/2021

Ref.: CP3-04

Descripción: Producto sólido (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Matriz: Enmienda orgánica, Compost (Grupo 6 (02)) sól.

Descripción: Producto sólido (2 kg aprox. en bolsa de plástico)

Condición:

Obs.:

ANÁLISIS DE PRODUCTO FERTILIZANTE (físico-químico)

DETERMINACIONES	Resultado		Metodología		
Humedad	16,39	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Materia seca	83,6	%(p/p)	PTA-FQ-024, desecación a 105°C		
Conductividad eléc. 25°C en extracto 1/5 (v/v)	7,46	mS/cm	PTA-FQ-005, conductímetro, basado en UNE-EN 13038		
pH en extracto 1/10 (p/v)	9,22	Ud. pH	PTA-FQ-004, pH-metro, basado en UNE-EN 13037		
Nutrientes	s.m.o.	s.m.s.			
Cenizas	58,8	%(p/p)	70,3	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación a 540°C, basado en UNE-EN 13039
Materia orgánica total	24,8	%(p/p)	29,7	%(p/p)	PTA-FQ-022, calcinación, basado en UNE-EN 13039
Carbono orgánico total	14,40	%(p/p)	17,22	%(p/p)	PTA-FQ-022, cálculo matemático
Nitrógeno total	1,07	%(p/p)	1,28	%(p/p)	PTA-FQ-036, Dumas, basado en UNE-EN 13654-2
Fósforo total	0,603	%(p/p)	0,722	%(p/p)	PTA-FQ-029, Extracción basado en UNE-EN 15956, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Potasio total	2,16	%(p/p)	2,58	%(p/p)	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Metales pesados	s.m.o.	s.m.s.			
Cadmio total	< 0,430	mg/kg	< 0,50	mg/kg	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Cobre total	41,7	mg/kg	49,9	mg/kg	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Cromo total	68,5	mg/kg	82,0	mg/kg	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Mercurio total	< 0,172	mg/kg	< 0,200	mg/kg	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Níquel total	49,5	mg/kg	59,2	mg/kg	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Plomo total	< 1,72	mg/kg	< 2,00	mg/kg	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963
Cromo VI	n.d. ¹	mg/kg	n.d. ¹	mg/kg	PTA-FQ-034, HPLC-UV, basado en UNE-EN 16318
Zinc total	81,5	mg/kg	97,4	mg/kg	PTA-FQ-027, ICP-AES basado en UNE-EN 16963

s.m.o.: sobre muestra original, s.m.s.: sobre muestra seca.

(p/p): peso/peso, (p/v): peso/volumen.

¹ n.d.: no detectado. Límite de cuantificación <0,5 mg/kg s.m.o.

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo. En caso de que el laboratorio no sea el responsable del muestreo los resultados aplican a la muestra como se recibió. El cálculo de incertidumbres está a disposición del cliente. El laboratorio se hace responsable de las informaciones suministradas en este informe excepto las aportadas por el cliente y las opiniones y/o interpretaciones emitidas con carácter meramente informativo. Es responsabilidad del cliente la correcta interpretación de los resultados.

Este informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito de este laboratorio.