

# ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE RESIDUOS Y POSTERIOR VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE EN LA UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

TRABAJO FIN DE GRADO



CIENCIAS AMBIENTALES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

Alumno: Francesc Hurtado Cabrera

Tutores académicos: M<sup>a</sup> Fuensanta García Orenes, Zbigniew Emil Blesa Marco

## RESUMEN:

Este TFG forma parte de un proyecto de la Universidad Miguel Hernández de Elche para la gestión de los residuos producidos por la entidad. El objetivo es la cuantificación y caracterización de los residuos, así como la investigación, experimentación y optimización de procesos de compostaje descentralizados, con el que valorizar los residuos orgánicos. Esta medida puede reducir la cantidad de residuos producidos y acercarnos a conseguir los objetivos de Desarrollo Sostenible. La iniciativa está alineada con los proyectos desarrollados en las diferentes universidades españolas, llamado *Campustaje*. El proyecto comenzó en Abril de 2022 y están implicados los siguientes actores: Grupo de investigación GIAMA (Grupo de Investigación Aplicada en Agroquímica y Medio Ambiente) del Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, así como al Área Ambiental y Desarrollo Sostenible y el Área de Jardinería de la UMH.

El objetivo es el estudio de la producción de residuos inorgánicos por tipologías, así como el aprovechamiento y gestión de los residuos orgánicos (FORS) de las cafeterías de la universidad y los restos de poda mixta del propio campus, mediante la técnica de compostaje.

Para el análisis de la producción de residuos se realizó una valorización y caracterización por tipologías de los residuos inorgánicos. Posteriormente, se procedió a la valorización de los residuos orgánicos mediante compostaje en composteras (n=2) de 800 Litros. Se realizaron análisis fisicoquímicos del producto en el primer, segundo y tercer mes desde el inicio del proceso. En estos se pudo observar que la calidad del compost fue adecuada, exceptuando que no se pudo alcanzar la higienización. Con este TFG se demuestra la importancia de emplear el compostaje como un sistema adecuado de valorización de los residuos orgánicos obteniéndose un producto de alto valor añadido.

Palabras clave: Compostaje, FORS, restos de poda, estabilizado, valor añadido.

## SUMMARY:

This TFG is part of a project of the Miguel Hernández University of Elche for the management of waste produced by the entity. The objective is the quantification and characterization of waste, as well as research, experimentation and optimization of decentralized composting processes, with which to value organic waste. This measure can reduce the amount of waste produced and bring us closer to achieving the Sustainable Development goals. This initiative is aligned with the projects developed in the different Spanish universities, called Campustaje. The project began in April 2022 and the following actors are involved: GIAMA research group (Group for Applied Research in Agrochemistry and Environment) of the Department of Agrochemistry and Environment, as well as the Environmental and Sustainable Development Area and the Gardening Area from the UMH.

The objective is to study the production of inorganic waste by type, as well as the use and management of organic waste (FORS) from the university cafeterias and the remains of mixed pruning from the campus itself, using the composting technique.

For the analysis of waste production, a valuation and characterization by type of inorganic waste was carried out. Subsequently, the organic waste was recovered through composting in 800-liter compost bins (n=2). Physicochemical analyzes of the product were carried out in the first, second and third month from the beginning of the process. In these it was possible to observe that the quality of the compost was adequate, except that sanitization could not be achieved. With this TFG, the importance of using composting as an adequate system for the recovery of organic waste is demonstrated, obtaining a product with high added value.

Keywords: Composting, FORS, pruning remains, stabilized, added value.

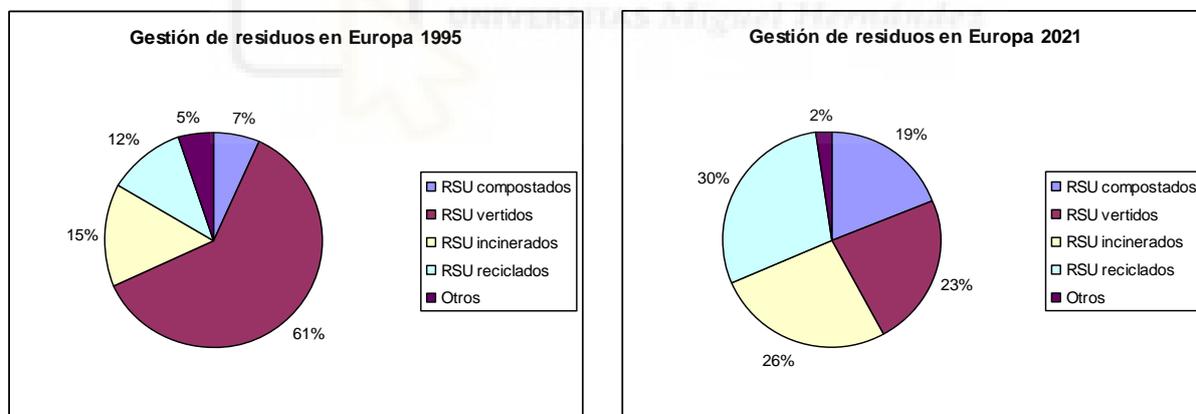
## **Indice.**

1. Introducción
  - 1.1. Problemática sobre la gestión de residuos
  - 1.2. Problemática de pérdida de suelo fértil
  - 1.3. Proceso de compostaje
    - 1.3.1. Etapas del proceso de compostaje
    - 1.3.2. Condiciones y parámetros del proceso de compostaje
  - 1.4. Beneficios del uso de compost
2. Objetivos
  - 2.1. Objetivos específicos
3. Material y métodos
  - 3.1. Diseño experimental
    - 3.1.1. Características de las materias primas
    - 3.1.2. Dispositivo de compostaje utilizado
  - 3.2. Desarrollo experimental
    - 3.2.1. Recogida selectiva de residuos orgánicos
    - 3.2.2. Cálculo y preparación de la mezcla
    - 3.2.3. Seguimiento del proceso de compostaje
  - 3.3. Métodos analíticos
4. Resultados y discusión
  - 4.1. Cuantificación de los residuos producidos por la cafetería de Rectorado
  - 4.2. Mezclado y disposición de la FORS en las pilas
  - 4.3. Evolución del perfil térmico
  - 4.4. Parámetros indicativos de la calidad del compost
5. Conclusiones
6. Bibliografía

## 1. Introducción

Nuestras actividades como la alimentación o la obtención de materias primas o energía producen residuos. Según la revista Scielo sobre la gestión de los residuos en Europa, la generación de residuos origina varios problemas, siendo el más preocupante el daño ambiental, que ocasionan irreparables daños a ecosistemas, contaminando el agua, la tierra y el aire. De acuerdo con Gonzales (2014) la actividad antropogénica está produciendo cambios sin precedentes al medio ambiente global. Los residuos producidos son de naturalezas muy diversas, por lo que hay una gran cantidad de desechos muy heterogénea que supone un problema para su gestión. Es por este motivo que la Unión europea y el resto de países buscan estrategias como las energías renovables, el reciclaje o la economía circular para reducir su generación.

Dentro de la gran diversidad de residuos podemos clasificar dos grandes grupos: los orgánicos e inorgánicos. Según datos del EUROSTAT, en 2020 en Europa se generaron 225,7 millones de toneladas de residuos municipales, un aumento del 1% respecto del año anterior y un 14% respecto a 1995. En 2021, en Europa, 54 mill. de toneladas de RSU fueron destinadas a vertederos y 62 mill. fueron incineradas, frente a las 45 mill. que fueron compostadas y 70 mill. que fueron recicladas. Aunque la diferencia es elevada con los datos de 1995, y la tendencia favorece a técnicas de gestión sostenibles como el reciclado o compostaje, estamos lejos de evitar el problema. En la siguiente figura 1 se muestra una gráfica comparativa entre el modelo de gestión de residuos en la Europa de 1995 frente a la Europa de 2021.



**Figura 1. Comparativa de la gestión de RSU en la UE entre 1995 y 2021 (Eurostat).**

La directiva marco de residuos define conceptos y establece requisitos esenciales para su gestión. Particularmente esta ley obliga a que las entidades o empresas que lleven a cabo operaciones de gestión de residuos estén registradas, que los estados miembros tengan planes para este fin y que la manipulación de estos no cause un impacto negativo en el medio ambiente y la salud. Este principio concierne al poseedor del bien del que provienen los residuos, sobre el que recaen los costes de gestión de los mismos. La directiva establece una jerarquía de residuos que dicta una serie de opciones para su gestión para disminuir el impacto que puedan causar. Dicha jerarquía consiste en:

- **Prevención:** Reducción de la cantidad de residuos generados por los productores de los mismos.
- **Preparación para la reutilización:** Reparación y renovación de productos y sus componentes para su reutilización.
- **Reciclaje:** Transformación de los residuos en nuevos materiales para que puedan ser reutilizados como materia prima en nuevos productos.
- **Otros tipos de valorización (como la energética):** Obtención de energía a partir de los residuos mediante la incineración con recuperación energética.
- **Eliminación:** Desechado final de los residuos en vertederos. Esta opción debe ser la última en ser aplicada. Cuando un residuo es incapaz de ser reutilizado mediante cualquiera de las opciones anteriores su destino final es el vertedero.

El compostaje se sitúa en la categoría de “reciclaje”, ya que consiste en la transformación biológica de residuos orgánicos en un material con valor agronómico notable. Aun así, la jerarquía de residuos establece que el reciclado de residuos orgánicos es una opción posterior a su reducción y reutilización.

El compostaje se considera una forma más sostenible de gestionar los residuos orgánicos que la incineración ya que es un proceso natural de descomposición, considerado de emisiones cero. La incineración de residuos emite gases contaminantes de efecto invernadero y no produce ningún producto útil. Además, según Mohedo (2004) como desventaja se señala que no es un sistema de eliminación total, ya que aunque se reduce el peso del material incinerado en un 70% y su volumen en un 80-90%, genera cenizas, escorias y gases.

Los residuos también se pueden clasificar según el sector de producción (primario, secundario y terciario) en el que se produzcan. Estos desempeñan un proceso productivo característico dentro de la cadena de producción de bienes y servicios.



1. Sector primario: Incluye la agricultura, la pesca y la minería. Se generan residuos potencialmente compostables como los agrícolas y pesqueros. Con estos últimos surge el problema de la salinidad, que debe ser correctamente tratada. En cuanto a los residuos mineros pueden ser altamente contaminantes y contener metales pesados.

2. Sector secundario: incluye la industria manufacturera y de construcción. Se generan residuos de producción, construcción, demolición, y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Pueden generar productos tóxicos, químicos y metalúrgicos, pudiendo contener metales pesados.



3. Sector terciario: incluye los servicios como la hostelería, comercio y educación. Se generan residuos como envases, residuos químicos (de limpieza, medicamentos, etc.), o residuos orgánicos como restos de alimentos. Algunos de estos residuos son potencialmente reciclables o compostables, y otros contaminantes o peligrosos, teniendo que ser tratados específicamente.

Existen otros tipos de residuos que se generan en cada sector, peligrosos para la salud y el medio ambiente, que necesitan una gestión adecuada. Cabe mencionar que el proceso exotérmico del compost es capaz de destruir gran cantidad de sustancias contaminantes contenidas en los residuos. De acuerdo con Vicente (2017) es posible recuperar suelos contaminados con estos compuestos aplicando el compost como técnica de biorremediación.

Las cantinas de la universidad se sitúan en el sector terciario, produciéndose desechos de hostelería tanto orgánicos como inorgánicos. Estos residuos orgánicos pueden ser valorados mediante el proceso de compostaje y reutilizados como enmiendas orgánicas para las zonas verdes del campus.

### **1.1. Problemática sobre la gestión de residuos**

Estamos en constante avance y en un rápido crecimiento demográfico. Esto, junto al éxodo rural hacia las ciudades, la cultura consumista de bienes de rápido deterioro y el ritmo frenético de la sociedad actual, han desembocado en una excesiva acumulación de residuos. Este incremento de generación de residuos sólidos es un problema que afecta con un notable deterioro al medio ambiente. Un buen manejo y aprovechamiento de los mismos es crucial para mejorar la calidad de vida en las ciudades (Freiles y col., 2016).

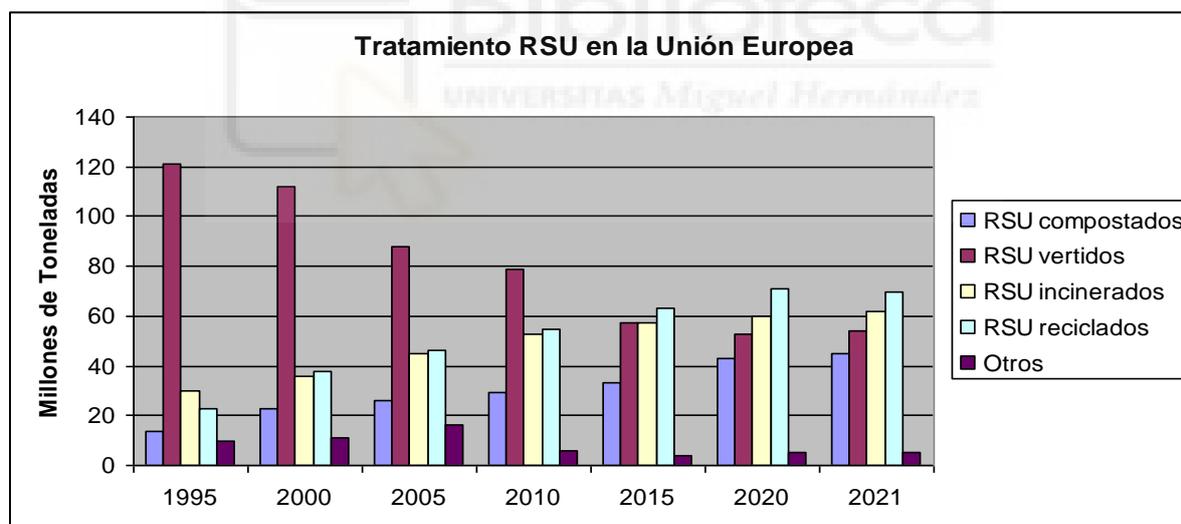
Las consecuencias son múltiples y se pueden observar en los efectos causados en los ecosistemas debido a la contaminación y sobreexplotación. Los recursos naturales son necesarios para nuestro mantenimiento y desarrollo como seres vivos, así como el de nuestras actividades. Según Jaramillo (2003), el crecimiento poblacional, la globalización y la creciente cultura consumista han venido presionando la demanda de recursos naturales y el aumento en la

generación de residuos sólidos, derivando en un alto riesgo para el ambiente y la salud pública, imponiendo un gran reto desde la perspectiva de la gestión ambiental.

Económica y socialmente podemos observar que el modelo actual de desarrollo está llegando a su límite. De acuerdo con Sandoval (2017) economistas ya destacaron la importancia de establecer una relación coherente entre el medio ambiente y el sistema económico. Estamos en un punto crítico ambiental, donde el modelo de economía lineal se pone en entredicho, y se hace necesario un cambio de modelo basado en la economía circular y las energías renovables. Paralelamente el calentamiento global está generando desequilibrios climáticos en todo el planeta agravando los problemas generados por la contaminación.

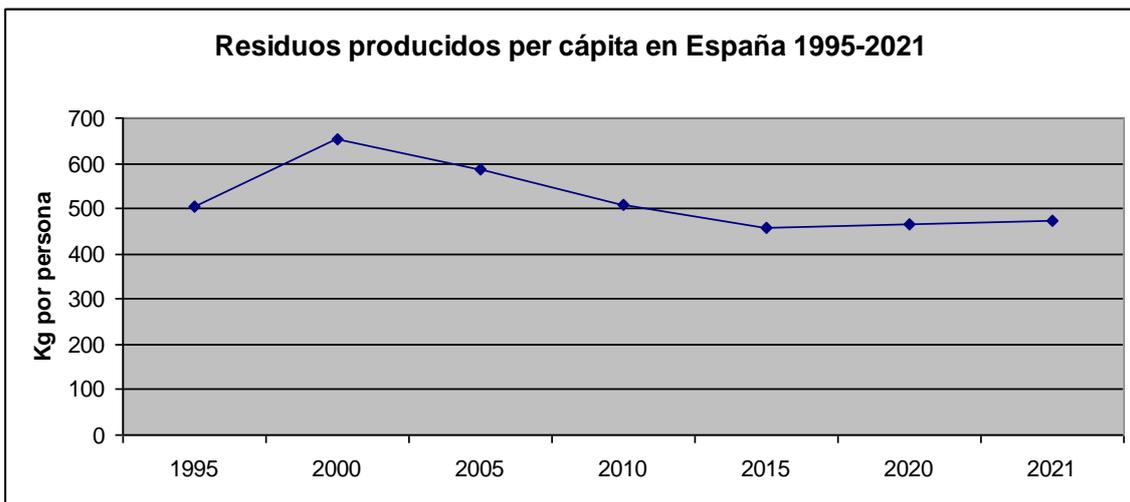
Como mencionan Emilio Cerdá y Aygun Khalilova (2016) tal como fue previsto por sus creadores, una economía circular es un ciclo de desarrollo continuo positivo que preserva y aumenta el capital natural, optimiza los rendimientos de los recursos y minimiza los riesgos del sistema, gestionando stocks finitos y flujos renovables.

Según la oficina europea de estadística, en la Unión Europea superamos los 500 kg de desechos producidos por persona al año. Entre los procesos de gestión mas destacados podemos observar que los residuos destinados a vertederos se reducen drásticamente debido al aumento de los procesos de reciclaje de materiales inorgánicos y compostaje de materia orgánica. Por el contrario la incineración de desechos aumenta, proceso que beneficia la acumulación de GEI. En la siguiente tabla se muestra la evolución de estos tratamientos desde 1995 hasta el año 2021.



**Figura 2. Tratamiento de RSU en la Unión Europea (Eurostat).**

Cabe destacar que en este periodo de tiempo, España ha disminuido la producción de residuos sólidos por persona. Mientras que en 1995 producíamos 505kg de media por habitante, en 2021 producimos 472kg (reducción del 6,6%). Aunque es un dato positivo, la mayor reducción ocurrió en los primeros 15 años desde el año 2000, frenándose este avance en los últimos seis años.



***Figura 3. Residuos producidos per cápita en España 1995-2021 (Eurostat).***

## **1.2. Problemática de pérdida de suelo fértil**

Los ecosistemas terrestres pueden encontrarse degradados, contaminados o, fracturados debido a nuestras infraestructuras. El cambio climático agrava estos factores causando riesgos de desertificación, inundaciones, tormentas y demás desastres naturales en todo el planeta. La agricultura intensiva y las malas prácticas agrarias desproveen a los suelos de su cubierta vegetal natural causando su desequilibrio. Uno de los efectos de esta situación es la constante pérdida de suelo fértil y cultivable, afectando a nuestro sistema de producción y poniendo en alto riesgo el abastecimiento de bienes como los alimentos. La aplicación de compost al suelo afecta positivamente al crecimiento y desarrollo de los cultivos, influyendo directa o indirectamente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos destinados a la producción agropecuaria (Wilson, y col., 2019).

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, o MITECO, afirma que *“Las proyecciones sobre el cambio climático en España apuntan hacia escenarios más favorables a los procesos de desertificación”, “Casi un 30% de la superficie de España sufre procesos erosivos medios o altos”*. Debido a esta situación la protección de los suelos se vuelve una cuestión cada vez más importante.

Ante este problema, la conversión de los residuos orgánicos en abono para la agricultura, es la solución perfecta a sus problemas de gestión y la pérdida de fertilidad de los suelos, convirtiendo este residuo en un recurso con el potencial de solucionar estos problemas.

El compostaje es una técnica tradicional que consiste en la devolución de los nutrientes contenidos en la materia orgánica residual de nuevo a los suelos, tras su valoración y estabilización. Con los avances tecnológicos, este proceso se puede optimizar para obtener un mayor rendimiento. Todos los residuos orgánicos generados son potencialmente compostables, por lo que un buen plan de compostaje nos acercaría más a un modelo sostenible de crecimiento.

Según un informe de la FAO en 2015, la erosión se lleva cada año de 25 a 40.000 millones de toneladas de la capa arable del suelo, reduciendo el rendimiento de los cultivos y su capacidad para almacenar nutrientes y agua. Si no se toman medidas, las proyecciones indican una reducción de la producción de más de 253 millones de toneladas en 2050. Esta pérdida de rendimiento sería equivalente a eliminar 1,5 millones de kilómetros cuadrados de tierras agrícolas.

### **1.3. Proceso de compostaje**

El compostaje es un proceso biológico que bajo condiciones de aireación, humedad y temperatura controladas y combinando fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45°C), transforma los residuos orgánicos degradables en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato (Negro y col., 2000).

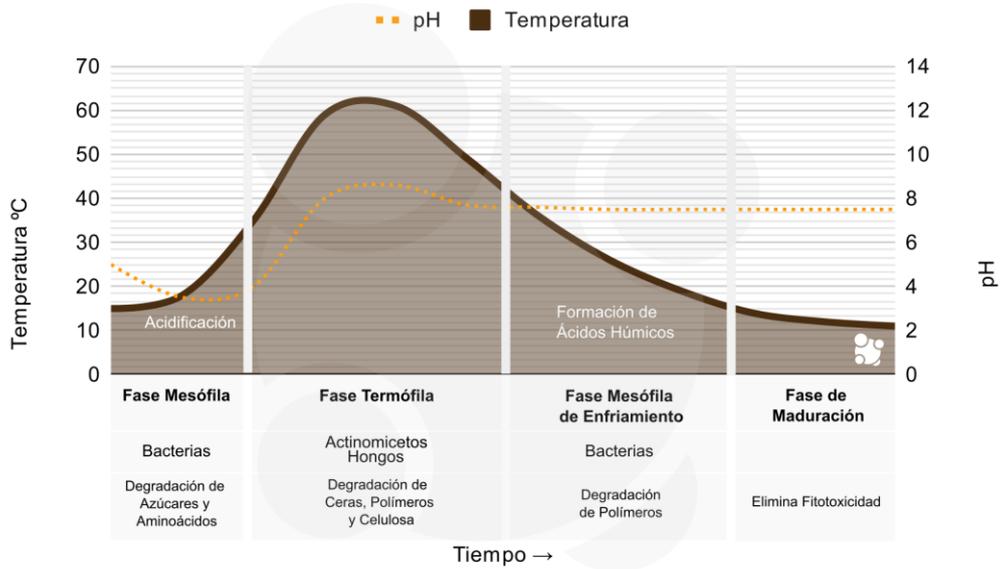
Es una técnica de tratamiento y estabilización de residuos orgánicos potencialmente biodegradables. El conjunto de organismos involucrados en el proceso oxida y metaboliza la materia orgánica mineralizándola. En este proceso, las temperaturas alcanzadas son capaces de destruir gran cantidad de patógenos, bacterias y semillas dando lugar a un producto higienizado. Es una técnica biológica de reciclaje de materia orgánica que al final de su evolución da humus, factor de estabilidad y fertilidad del suelo (Negro y col., 2000).

El proceso de compostaje es la suma de una sucesión de cambios metabólicos procedentes de la actividad de un conjunto de microorganismos. Estos varían según la composición de las enmiendas utilizadas al inicio del proceso, mineralizando la fracción más asimilable y humificando la menos, quedando susceptible a sufrir mineralizaciones posteriores. Según lo mencionado por Almendros y González (2021) la materia orgánica del suelo (el humus) constituye la mayor reserva de carbono orgánico del planeta, y se encuentra constituida por sustancias de elevado peso molecular y estructura compleja denominadas genéricamente «sustancias húmicas». Estas no presentan una composición definida ni constante en los distintos tipos de suelo, sino dependiente de los factores ambientales.

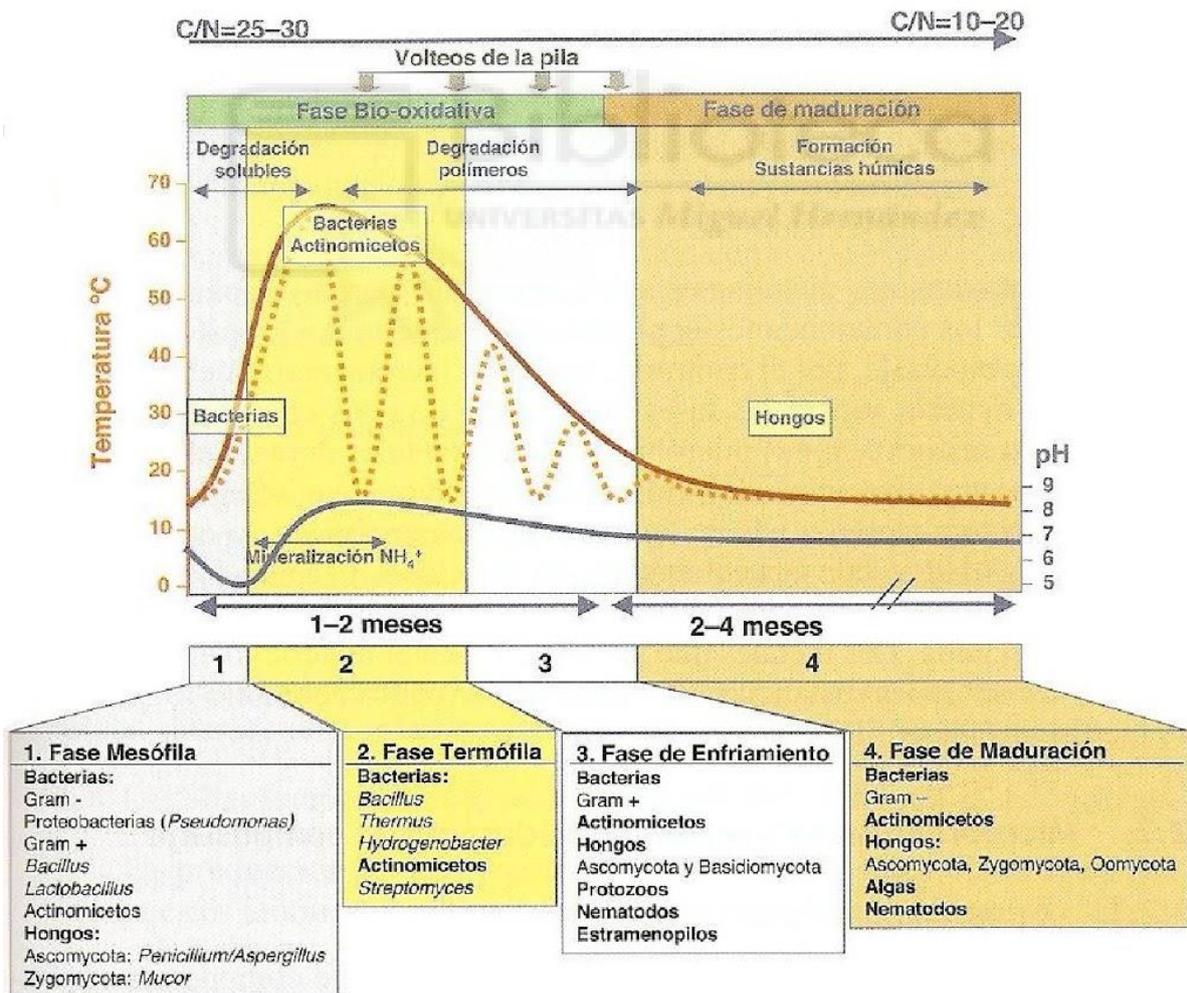
#### **1.3.1. Etapas del proceso de compostaje**

El proceso de compostaje está formado por un conjunto de microorganismos aeróbicos que se encuentran de manera habitual en el medio ambiente. Este proceso se da naturalmente en los ecosistemas y es el causante de la descomposición de la materia orgánica constando de una serie de etapas consecutivas que la estabilizan. En este proceso, los organismos toman los nutrientes y liberan energía al medio en forma de calor haciendo del compostaje un proceso exotérmico. Esta temperatura liberada es un indicador eficaz para el seguimiento del proceso y la actividad de los organismos que van descomponiendo la materia orgánica. Se pueden distinguir 3 fases diferentes: Mesófila, termófila y de maduración.

Fuente: CSR Laboratorio



**Figura 4.** Evolución de las fases del proceso de compostaje (CSR Laboratorio).



**Figura 5:** Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje (Moreno y Mormeneo 2008).

- Fase Mesófila: En esta primera etapa, el material de partida se encuentra a temperatura ambiente y se comprende desde esta hasta los 45°C. En los primeros días, el compost aumenta su temperatura debido a que los microorganismos empiezan a descomponer la fracción más fácilmente asimilable desprendiendo calor. Debido a esta actividad el medio se acidifica.
- Fase Termófila: En esta etapa la temperatura de la pila varía entre los 40°C hasta los 65°C, sustituyéndose los organismos mesófilos por los termófilos. Estos organismos son bacterias en su mayor parte, las cuales contribuyen al proceso metabolizando las fases más difícilmente asimilables de la materia orgánica. El pH comienza a ascender hasta llegar a sus valores más altos entre 8 y 8.5. Esta fase puede durar de unos días a varios meses. La temperatura alcanzada en esta fase es capaz de eliminar patógenos, virus, formas de resistencia de bacterias y hongos y esterilizar semillas.
- Fase Mesófila de enfriamiento: A medida que el proceso avanza la materia orgánica se mineraliza y la actividad biológica desciende, junto a la temperatura y el pH. La temperatura desciende hasta los 40-45°C y el pH hasta alrededor de 8. Vuelven los organismos mesófilos que siguen degradando la materia orgánica restante. Si el pH inicial es inadecuado (muy ácido o básico), todo el proceso se dificultará y ralentizará.
- Fase de maduración: Durante esta fase se produce la humificación de la materia orgánica y las moléculas presentan un aumento significativo en su complejidad. En ella el compost se encuentra a temperatura ambiente, y ocurren otros tipos de reacciones secundarias que ayudan a formar nuevas moléculas como el humus. El producto final tiene un aspecto y olor terroso y una baja actividad biológica. Se recomienda que esta etapa dure 1 mes como mínimo, pudiendo durar hasta 3 meses, según afirma el ministerio de medio ambiente y medio rural marino (miteco 2008).

### **1.3.2. Condiciones y parámetros del proceso de compostaje**

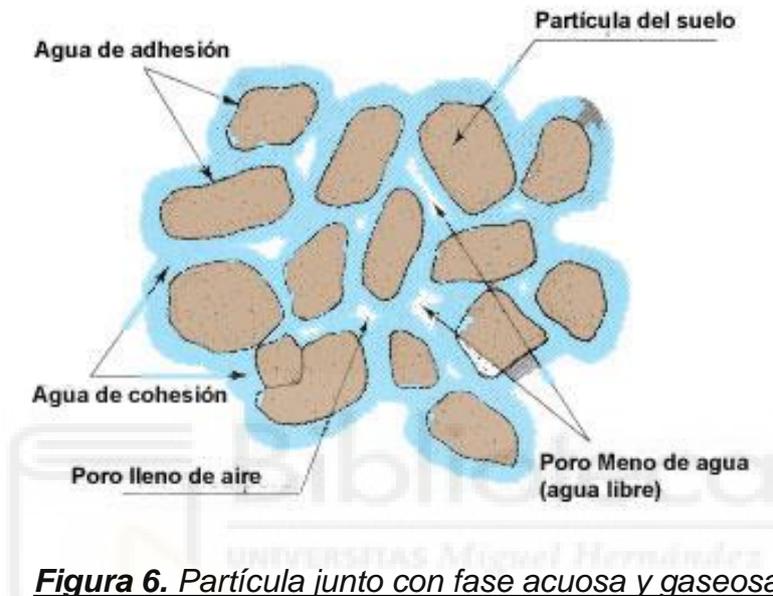
La calidad del compost resultante depende en gran parte del proceso realizado y que los parámetros que lo definen evolucionen correctamente a lo largo de este. Así mismo, conocer los residuos que utilizemos inicialmente y sus características es muy importante para conocer las cualidades físico-químicas del producto final. Establecer una mezcla inicial adecuada es esencial para un correcto desarrollo del proceso y un producto final con los parámetros deseados.

Las variables más importantes que afectan al proceso de compostaje se pueden clasificar en dos tipos: parámetros de seguimiento, son aquellos que se han de medir durante todo el proceso para que sus intervalos se encuentren en los rangos adecuados; parámetros relativos a la naturaleza del sustrato: aquellos que se han de medir y adecuar a su valor correcto al inicio del proceso.

- **Parámetros de seguimiento:**
  - **Temperatura:** la actividad metabólica de los organismos al descomponer la materia orgánica desprende calor, por lo que su temperatura es un buen indicador de la actividad microbiana que se lleva a cabo en esta.
  - **Humedad:** el agua es imprescindible para la actividad metabólica de los organismos, así como para proporcionar un medio del que tomen las sustancias.
  - **pH:** inicialmente la acidez es la propia de los productos a compostar, pero debido a la actividad microbiana sufre cambios. Durante la fase mesófila el pH desciende ligeramente debido a la degradación de azúcares y en la termófila vuelve a ascender, por acción de los hongos, antes de descender finalmente hasta un valor de 7,5 – 8.
  - **Aireación:** el proceso de compostaje es un proceso de degradación biológica por microorganismos aeróbicos, por lo que la presencia de oxígeno es necesaria para su metabolismo. La oxigenación de una pila de compost se lleva a cabo con volteos mecánicos o manuales, dejando que el aire entre en contacto con las zonas internas de esta. El proceso de volteo conlleva la pérdida de humedad por evaporación y enfriamiento del compost ralentizándose la actividad biológica. La oxigenación de la pila con otros métodos es más costosa.
- **Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato:**
  - **Tamaño de partícula:** La granulometría de un material determina el tamaño y distribución de los poros, la proporción agua-aire y en consecuencia el régimen de riego y desarrollo de las plantas (Prasad y Chualáin, 2004). Al disminuir el tamaño de las partículas, aumenta la superficie en contacto con los microorganismos, facilitando su degradación, homogenización, mezcla de los materiales y mantenimiento de la temperatura. No obstante, partículas excesivamente pequeñas, producen compactación y limitación de la aireación, generando condiciones de anoxia. Si el material inicial es muy grueso, deberá ser triturado antes de su aplicación para que tenga unas dimensiones consideradas óptimas de 1-5 cm (Haug 1993), o entre 2,5 y 2,7 cm según Tchobanogolus y col., (1994).
  - **Relación C/N:** esta es óptima cuando se encuentra en el intervalo teórico de entre 20 y 30. Esto hace referencia a la necesidad de los microorganismos de tener 25 átomos de Carbono por cada 1 de Nitrógeno en las moléculas que metabolizan. Los problemas derivados de que esta relación sea superior a 30 son las pérdidas de Nitrógeno en forma de amoníaco. Así mismo, los problemas de que se encuentre por debajo de 20 derivan en un proceso lento e ineficiente por la baja actividad de los organismos causada por la carencia de Nitrógeno.
  - **Nutrientes:** si el compost es utilizado como abono es importante considerar que la disponibilidad de nutrientes varía mucho dependiendo de la materia prima utilizada, el método de compostaje, y el grado de madurez del producto final (Soto, 2002). Los microorganismos los utilizan en su

metabolismo durante el proceso y crean compuestos orgánicos complejos que quedan fijados en el producto final.

- Materia orgánica (MO): principal factor para determinar la calidad agronómica del compost. El contenido final será la consecuencia del valor inicial de MO, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento (Soliva, 2004).
- Conductividad eléctrica (CE): medida en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indica la cantidad de sales solubles presentes en el compost. Conocer este parámetro es importante debido a que estas son acumulables y nocivas para los suelos.



**Figura 6.** Partícula junto con fase acuosa y gaseosa.

#### 1.4. Beneficios del uso de compost

El compost resultante de este proceso es una enmienda orgánica rica en sustancias húmicas y potencialmente utilizable como sustrato. El compost aporta materia orgánica al suelo restituyendo la que ya se ha mineralizado, mejorando su estructura natural y propiedades fisicoquímicas. Esto es interesante en los suelos de cultivo que debido a su actividad consumen esta fracción rápidamente, así como para la rehabilitación y restauración de suelos degradados.

La aplicación sobre un mismo hábitat de distintos tipos de compost puede generar diferencias en la actividad detectada, como muestran los estudios realizados por Albiach y col. (2000) y Ros y col. (2007). Esta variabilidad es de especial interés en procesos en los que se requiera una mayor actividad de especies concretas, como en tratamientos de biorremediación y recuperación de suelos, puesto que a través de las características del compost empleado es posible ejercer cierto grado de control sobre el desarrollo de comunidades microbianas específicas con mayor grado de implicación en dichos procesos (Izquierdo, C. G. y col., 2008).

Se puede recomendar el uso de compost cuando el objetivo que se persigue es la captura de carbono y la mejora de la calidad de suelo a largo plazo. El vermicompuesto produjo una mejora del estatus biológico del suelo a corto plazo por

lo que puede utilizarse en la mejora inmediata de la calidad de los suelos enmendados (Ceppi, S. y col., 2010). Con respecto a las dosis de aplicación es recomendable la aplicación sucesiva de pequeñas dosis y no una aplicación de grandes cantidades de enmienda (Campitelli, P y col, 2010).

A parte de los beneficios obtenidos con la materia orgánica, también los obtenemos de la gestión de los mismos residuos. Estos beneficios son:

- Mejora el almacenaje, tratamiento y manejo de los materiales debido a que una vez compostados, son menos voluminosos, ligeros, secos y estables que los iniciales.
- Al ser un producto estabilizado se eliminan los problemas de malos olores y generación de insectos.
- Al ser el compostaje un proceso de estabilización de residuos, su vertido al medio ambiente no es perjudicial, si no beneficioso, evitando el uso abusivo de fertilizantes químicos.
- Con el proceso de compostaje, el calor generado por la actividad metabólica de los organismos elimina patógenos, formas de resistencia y esterilizan semillas que contuviesen los desechos orgánicos inicialmente. En la tabla 1 se recogen los parásitos y patógenos mas comunes en compost así como las temperaturas y tiempos de exposición necesarios para su eliminación. La temperatura mínima requerida para destruir microorganismos patógenos es de 50°C (Morales y col., 2009).

**Tabla 1.** Temperatura y tiempos de exposición para la eliminación de patógenos (Tchobanoglous, Theisen y Vigil, 1994).

<b>Organismo</b>	<b>Temperatura y tiempo de exposición</b>
Salmonella typhosa	Sin crecimiento por encima de 46 °C, eliminación en 30 minutos a 55-60 °C y en 20 minutos a 60 °C
Salmonella sp.	Eliminación en 1 hora a 55 °C y en 15-20 minutos a 60 °C
Shigella sp.	Eliminación en 1 hora a 55 °C
Escherichia coli	Eliminación en 1 hora a 55 °C y en 15-20 minutos a 60 °C
Entamoeba histolytica	Eliminación en pocos minutos a 45 °C y en pocos segundos a 55 °C
Taenia saginata	Eliminación en pocos minutos a 55°C
Trichinella spiralis	Eliminación rápida 55 °C e instantánea 60 °C
Brucella abortus o Br. suis.	Eliminación en 1 hora a 55 °C y en 3 minutos a 62-63 °C
Micrococcus pyogens var. Aureus	Eliminación en 10 minutos a 50 °C
Streptococcus pyogenes	Eliminación en 10 minutos a 54 °C
Mycobacterium tuberculosis var. Homini	Eliminación en 15-20 minutos a 66 °C
Corynebacterium diphtheriae	Eliminación en 45 minutos a 55 °C
Necator americanus	Eliminación en 50 minutos a 45 °C
Ascaris lumbricoides	Eliminación en menos de 1 hora a temperaturas mayores de 50 °C

## **2. Objetivos**

El objetivo de este TFG es desarrollar un proceso de compostaje a partir de residuos orgánicos de las cafeterías de Rectorado y Arenals (FORS) y restos de poda de los jardines, en el campus de Elche de la UMH. Con este fin se pretende producir un producto de calidad, estabilizado y con valor añadido, con el que abonar las zonas verdes del mismo campus que los produce.

Este trabajo ayudará de forma general a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030, cumpliendo específicamente diferentes metas recogidas en los ODS:

- 2. Hambre cero.
- 12. Producción y consumo responsable.
- 15. Vida y ecosistemas terrestres.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Caracterización de los residuos producidos en las cafeterías del campus de Elche: edificios Rectorado y Arenals.
- Elaboración de una receta óptima.
- Implantación del proceso de compostaje a través del control de las fracciones de la materia orgánica a mezclar y el perfil térmico que describen.
- Caracterización de la calidad del compost producido analizando sus características fisicoquímicas.

## **3. Material y métodos**

### **3.1. Diseño experimental**

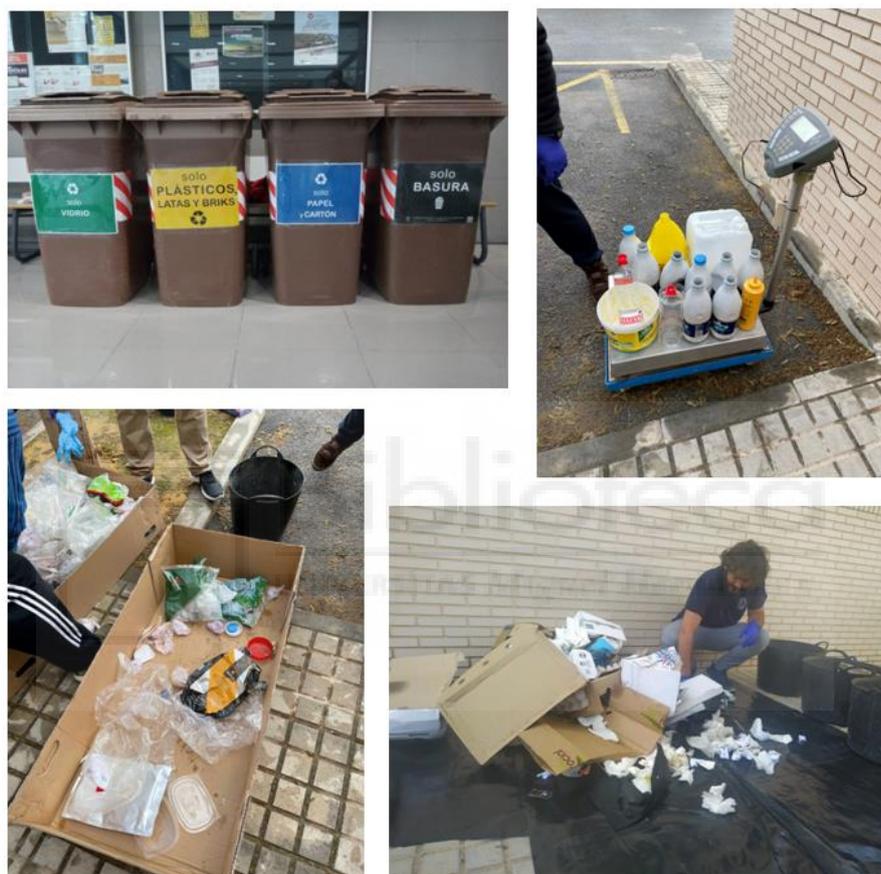
El sistema de compostaje empleado fue de 2 composteras ( $V=800L$ ) por tratamiento. Al proceso de compostaje se le confirieron condiciones de humedad, oxigenación y porosidad para obtener un proceso biooxidativo adecuado. Se realizó una comparativa del proceso de compostaje en función de la procedencia de la FORS recogida en dos de las cafeterías de la UMH (Rectorado y Arenals). Este proyecto tuvo una duración de 4 meses, desde el 11 de abril hasta el 31 de julio. El diseño experimental constó de las siguientes 4 fases:

- Fase 1: Caracterización inicial de los residuos producidos.
- Fase 2: Establecimiento de la mezcla a compostar.
- Fase 3: Toma de temperaturas y programación de volteos y muestreos.

- Fase 4: Análisis de las características físico-químicas del compost.

### **Fase 1: Caracterización inicial de los residuos producidos.**

Se cuantificaron las distintas fracciones de residuos que se produjeron en las cafeterías de Arenals y Rectorado. Se clasificaron, separaron y cuantificaron mediante una báscula electrónica la primera semana de cada mes durante cuatro meses.

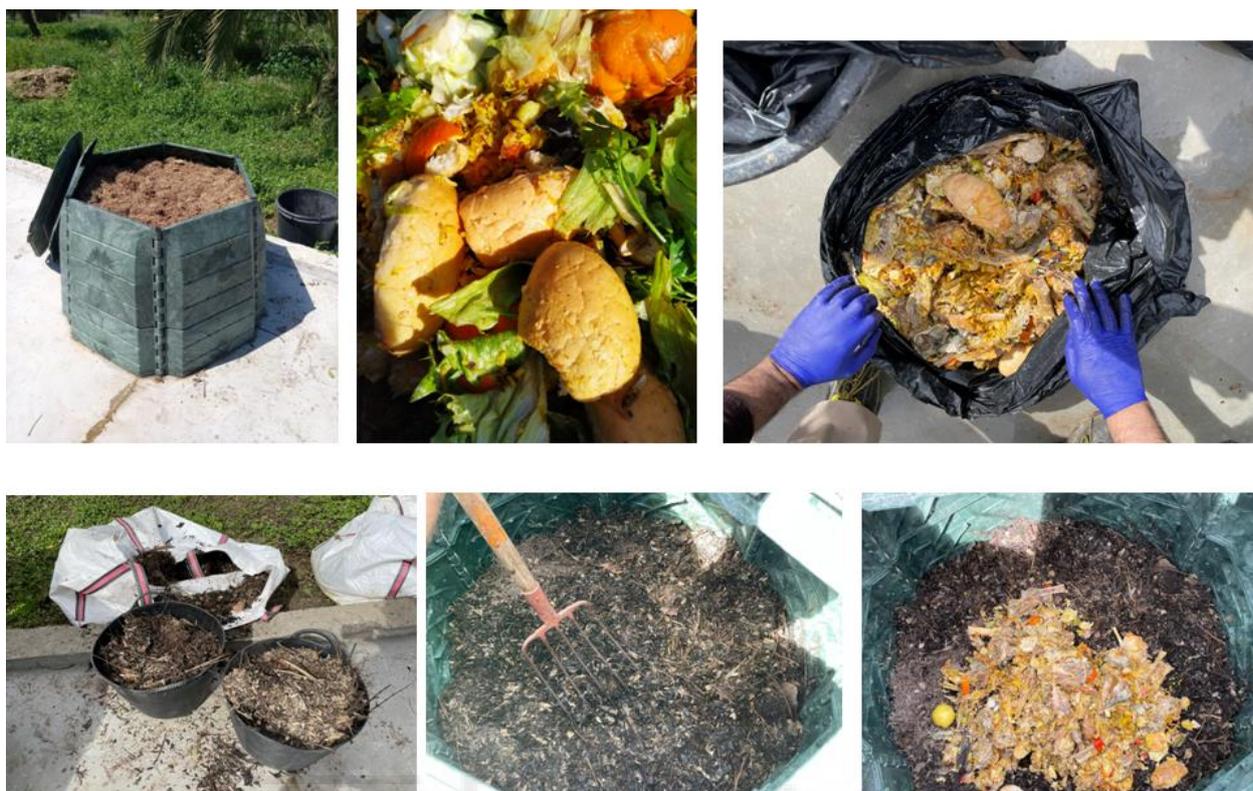


***Figura 7: Clasificación por fracciones de los residuos.***

Los residuos inorgánicos fueron clasificados en sus distintas fracciones y cuantificados en masa para estimar su producción antes de su desecho. Estos fueron recogidos durante los 4 meses que duró el proyecto. En agosto fue el periodo de inactividad por vacaciones y se detuvo la cuantificación.

Los residuos orgánicos, tras ser recogidos, eran trasladados por el equipo de jardinería a la isla de compostaje donde se cuantificaron y dispusieron en las composteras según la mezcla. Paralelamente el equipo de jardinería de la universidad acumuló los restos de poda en la isla de compostaje para ser utilizados como estructurante. Estos residuos vegetales fueron clasificados en dos fracciones, una fina compuesta por los restos de césped y una gruesa formada por los restos de poda de las plantas leñosas y arbustivas del campus. En la figura 7 se muestran los

contenedores aportados por la universidad y los residuos inorgánicos, y en la figura 8 la FORS que se compostó.



**Figura 8:** Residuos orgánicos.

### **Fase 2:** Optimización de la mezcla de compostaje.

La mezcla inicial debe tener unas características fisicoquímicas adecuadas de: pH, humedad, densidad aparente (DA), conductividad eléctrica (CE) y relación C/N. En base a ello se estableció una mezcla óptima de FORS y restos vegetales (grosso y fino). En las tablas 2 y 3 se muestra la composición de la mezcla inicial propuesta para cada tratamiento.

**Tabla 2:** Proporción de la mezcla inicial (m.f.).

Materia fresca	Proporción en volumen	FORS (Kg)	FORS (%)	Poda (Kg)	Poda (%)
Rectorado	1,7 : 1	185,26	62,74	103,98	37,26
Arenals	1,2 : 1	126,32	54,4	105,81	45,6

**Tabla 3:** Proporción de la mezcla inicial (m.s.).

Materia seca	Proporción en volumen	FORS (Kg)	FORS (%)	Poda (Kg)	Poda (%)
Rectorado	1 : 1,2+	46,3	45	56,8	55
Arenals	1 : 1,7+	31,6	37	53,5	63

### **Fase 3: Toma de temperaturas y programación de volteos y muestreos.**

La toma de temperaturas se realizó semanalmente (lunes, miércoles y viernes). Las mediciones se hicieron por triplicado en diferentes regiones de cada compostera (punto central y extremos). Estas se realizaron a la misma hora del día y en los mismos puntos como se estipula en las normas para el control de estos procesos.

Los riegos se realizaron de 2 a 4 días al mes para mantener la humedad en los rangos óptimos de 40-60% durante la fase biooxidativa. De acuerdo con Iviss (2021), una humedad inicial del 50-60% por peso se considera generalmente óptima para el compostaje debido a que proporciona suficiente agua para mantener la actividad microbiana sin bloquear el intercambio de gases.

Los volteos se realizaron mensualmente para mantener una correcta aireación. Como afirma Negro y col., (2000) es un proceso aerobio, se necesita la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos. La aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados teniendo en cuenta que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso. La aireación debe garantizar la disponibilidad de un mínimo del 5% de oxígeno en el interior del sistema para evitar la anaerobiosis y la formación de ácidos orgánicos volátiles y otros compuestos de degradación no deseados, aunque el ideal es que el porcentaje de oxígeno en el sistema se mantenga por encima del 12% (Pérez y Morales 2008).

### **Fase 4: Análisis de las características físico-químicas del compost.**

Se analizaron 4 muestras por tratamiento, al inicio (t=0 días), a mitad del proceso (t=35 días) y (t=63 días), y al final (t=80 días) determinándose los siguientes parámetros físico-químicos: pH, CE, MO, Nitrógeno (N), Fósforo (P), y Potasio (K).

La evolución del proceso se controló mediante la evaluación del perfil térmico de las composteras, para evaluar si se alcanzaban temperaturas de higienización y maduración según el RD UE 1009/2019.

#### **3.1.1 Características de las materias primas**

Los residuos iniciales fueron analizados en el laboratorio por separado. Sus características se muestran en la tabla 4:

**Tabla 4: Propiedades físico-químicas de las materias primas.**

<b>Propiedades físico-químicas</b>	<b>Césped</b>	<b>Poda gruesa</b>	<b>FORS</b>
Ph	6,63	6,6	6,1
Conductividad eléctrica (mS/cm)	7,23	1,27	6,8
Densidad aparente (Kg/L)	0,19	0,21	0,12
Materia orgánica (%)	79,6	77,3	83,1
Carbono (%)	42,1	47,2	49,4
Nitrógeno (%)	3,19	1,39	3,6
Fósforo (P) (g/Kg)	0,46	0,86	2,86

Potasio (K) (g/Kg)	2,48	13,4	1,91
Sodio (Na) (g/Kg)	0,4	1,54	30,2

### 3.1.2. Dispositivo de compostaje utilizado

Los dispositivos de compostaje utilizados constaron de 2 composteras hexagonales de polietileno, resistentes a la luz solar, móviles y de volumen ( $V=800L$ ). Las composteras poseen un sistema de ventilación natural, pasiva, que consiste en las pequeñas rendijas de las piezas que la constituyen, así como por la tapadera superior.



**Figura 9: Sistema de compostera.**

## 3.2. Desarrollo experimental

### 3.2.1. Recogida selectiva de residuos orgánicos

La recogida de la FORS de las cafeterías se realizó la primera semana de los 4 meses que duró el estudio. Estos periodos corresponden los días que esta fue recogida ya que dependían de su actividad. En abril se realizaron 2 días de recogida de FORS con una actividad media de 27,5 Kg/día. Los periodos mas bajos de producción fueron el de mayo con 6 días de recogida de FORS con una media de 21,7 Kg/día, y el de julio con 4 días de recogida con una producción de 20,7 Kg/día. El periodo de junio fue el de mayor producción de FORS con 40,5 Kg/día, recogida en 2 días.

### 3.2.2. Cálculo y preparación de la mezcla

Tras la recogida de la FORS se trasladaba a la isla de compostaje, donde se cuantificaba en masa mediante el pesado con una báscula y se calculaba la cantidad de materia vegetal a añadir. La mezcla se disponía en la compostera en capas alternas de FORS y materia vegetal y se homogeneizaba revolviendo el material de su interior mediante volteos una vez al mes.

La mezcla se ajustó buscando tener unas características iniciales dentro de los rangos recomendados de C/N, densidad aparente óptima y una humedad apta del 55% para aportar porosidad y evitar los procesos de anaerobiosis.

En la compostera de Arenals la mezcla tuvo una proporción de **1,2 : 1** de FORS – Materia vegetal en masa fresca, siendo un 54,36% de FORS y un 45,64% de Materia vegetal (mixta y césped), de los 232,13 Kg totales dispuestos.

En la compostera de Rectorado la mezcla tuvo una proporción de **1,7 : 1** de FORS – Materia vegetal en masa fresca, siendo un 62,74% de FORS y un 37,26% de Materia vegetal (mixta y césped), de los 289,24 Kg totales dispuestos.

La mezcla se realizó manteniendo la proporción diseñada de 1'5 : 1 en masa fresca y se acopiaron los restos orgánicos en las composteras en la disposición por capas establecida. Tras alcanzar una masa crítica suficiente de 185,26Kg en Rectorado y 126,32Kg en Arenals, se procedió a su riego, homogenización e inicio del proceso.

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

- Llenado progresivo de las composteras en función de la FORS recogida durante el proyecto.
- Monitoreo de la temperatura de las composteras, tres veces por semana antes y una vez estuviesen llenas.
- Las mediciones de temperatura se hicieron con un termómetro para compostaje facilitado por la universidad.
- Realización de volteos periódicos una vez al mes la primera semana del mismo. Estos se realizaron a los 7, 35 y 63 días.
- Riegos periódicos entre 2 y 4 veces al mes, salvo el último mes que se dejó en maduración, realizados los días 7, 20, 31, 35, 40 y 63.
- Los riegos se realizaron con el agua del foso de la isla de compost que provenía de las lluvias y recogía los lixiviados del mismo.
- Muestreos mensuales realizados los días 0, 35, 63 y 80.
- Cada muestra de material se realizó a partir de 2 submuestras tomadas de distintos puntos de la pila.
- Estos muestreos consistieron en el análisis del pH, CE, MO, nitrógeno, fósforo y potasio de las muestras. El resultado final consistió en el valor medio de los obtenidos en cada una de las 2 submuestras tomadas.

### 3.3. Métodos analíticos

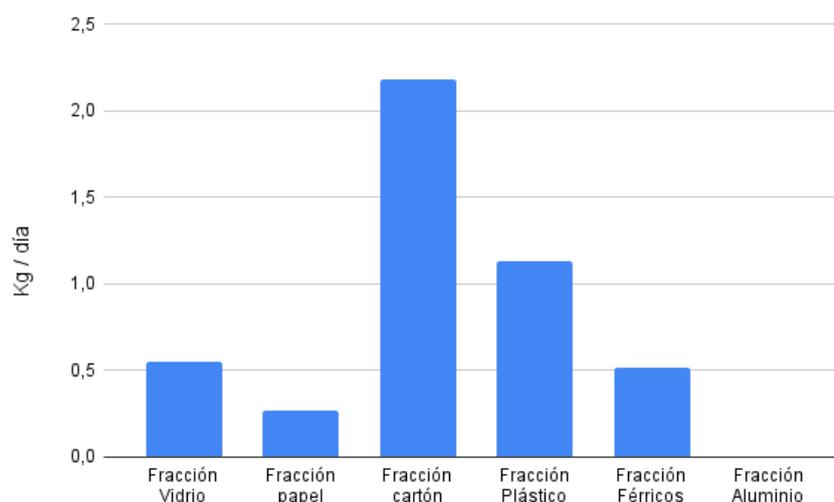
Los análisis llevados a cabo fueron de los materiales iniciales y diferentes muestreos a lo largo del proceso.

- El pH se midió en extracto acuoso con agua desionizada (1:2,5 p/v).
- La CE fue determinada en extracto acuoso con agua desionizada (1:5 p/v).
- La MO se midió mediante oxidación con dicromato potásico y posterior valoración con sulfato ferroso amónico (Walkley y Black, 1934).
- El nitrógeno fue medido, para determinar tanto el N orgánico como el amoniacal, mediante el método Kjeldahl.
- El fósforo se determinó con el método de Burriel-Hernando (Díez, 1982).
- El potasio se determinó en absorción atómica tras la digestión ácida de la muestra.

## 4. Resultados y discusión

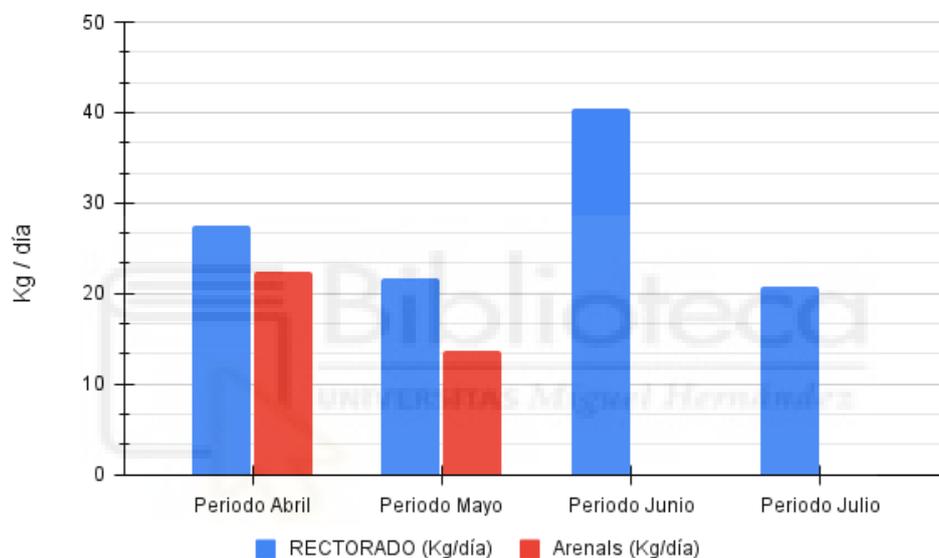
### 4.1. Cuantificación de los residuos producidos por la cafetería de Rectorado

En cuanto a la cuantificación de residuos en la cafetería de Rectorado, esta produjo un total de 224,92Kg. El porcentaje de orgánico fue de un 82.36% correspondiendo a 185,26Kg de FORS, y el inorgánico fue el 17,64% restante con 39,66Kg. Estos residuos inorgánicos se muestran en la figura 10.



***Figura 10: Producción de residuos inorgánicos de la cafetería Rectorado.***

Como se puede observar en el gráfico anterior, el principal residuo inorgánico producido es el cartón con una producción de 2,2 Kg/día. Este consiste en cajas de cartón, envoltorios, soportes y paquetes de alimentos. En el trabajo de Morales (2012), el cartón también fue el principal residuo producido. El segundo residuo mayormente producido es el plástico, con una producción diaria de 1,13 Kg. Este residuo consiste en envoltorios como bricks, botellas y envases de alimentos. La producción de esta fracción es la mayoritaria en el estudio de Coyago y col., (2016). La tercera tipología de residuo producida es el vidrio, con una producción de 0,55 Kg/día, formada por botes y botellas principalmente. El cuarto nivel de producción es el de envases férricos con una producción de 0,51 Kg/día. Esta consistió en envases tales como latas de metal y de conservas. El quinto grupo de residuos es el papel con una producción de 0,27 Kg/día. Este residuo está formado mayormente por servilletas y algunos envoltorios alimentarios. Por ultimo, la producción de aluminio fue de 0,0063 Kg/día, consistida sobretodo por papel albal. Los resultados de la fracción orgánica se muestran en la siguiente figura 11.

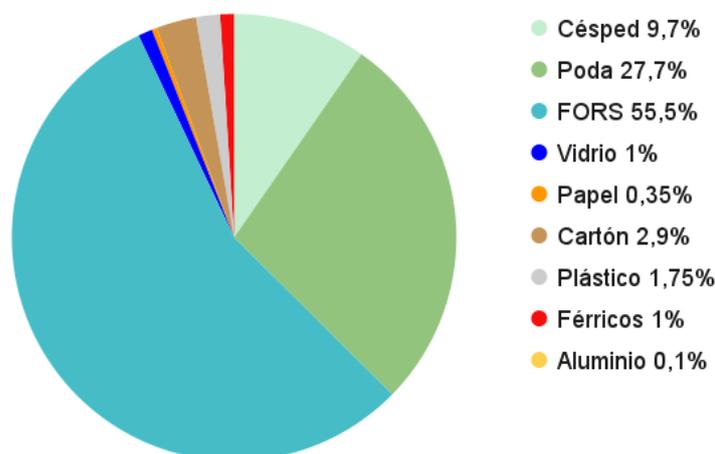


**Figura 11: Producción de residuos orgánicos de las cafeterías Rectorado y Arenals.**

Como se puede observar en la figura 11, en el caso de Rectorado, hay tres niveles de producción de orgánico bien definidos: Niveles 1, 2 y 3 de producción alta, media y baja. Estos niveles representan la actividad de las cafeterías en los periodos de recogida. En el caso de la cafetería de Arenals hay solo 2 niveles de producción dado que la FORS solo fue recogida en abril y mayo. La producción de esta es proporcional a la de Rectorado, siendo la menor productora la cafetería de Arenals con una diferencia de 5Kg/día en abril y 8,1Kg/día en mayo.

En abril hubo un valor medio de actividad en las cafeterías. Aunque son las vacaciones de semana santa, los alumnos tienen actividades académicas, lo que repercute en una mayor actividad en las cafeterías. La época de junio está asociada a una mayor productividad debido a la afluencia de alumnos y profesores, debido a exámenes y evaluaciones finales. Mayo y julio fueron los meses de menor actividad observada. En julio no hay actividad docente en el campus y en mayo la baja actividad observada pudo ser por cualquier motivo.

En total se cuantificaron 521,37Kg de residuos orgánicos en masa fresca y 39,66Kg de residuos inorgánicos, en los 22 días que fueron recogidos. De los 561,03Kg de residuos cuantificados, el orgánico representa el 93%, y el inorgánico el 7% del total. El porcentaje de estas fracciones se muestra en la figura 12.



**Figura 12: Porcentaje de producción de residuos orgánicos e inorgánicos de las cafeterías Rectorado y Arenals.**

#### **4.2. Mezclado y disposición de la FORS en las pilas**

La mezcla de la materia orgánica en las composteras se dispuso por capas alternas de FORS y material estructurante para que su volteo y homogenización fuese más sencilla. Se colocaron una primera capa de estructurante en la zona baja para la absorción de los lixiviados y una capa “tapeta” final de estructurante para evitar una excesiva pérdida de humedad. El llenado se realizó según la cantidad de FORS recogida en las cafeterías. La relación de mezcla y las cantidades dispuestas de los ingredientes utilizados fue la siguiente:

**Tabla 5: Disposición de ingredientes en las composteras.**

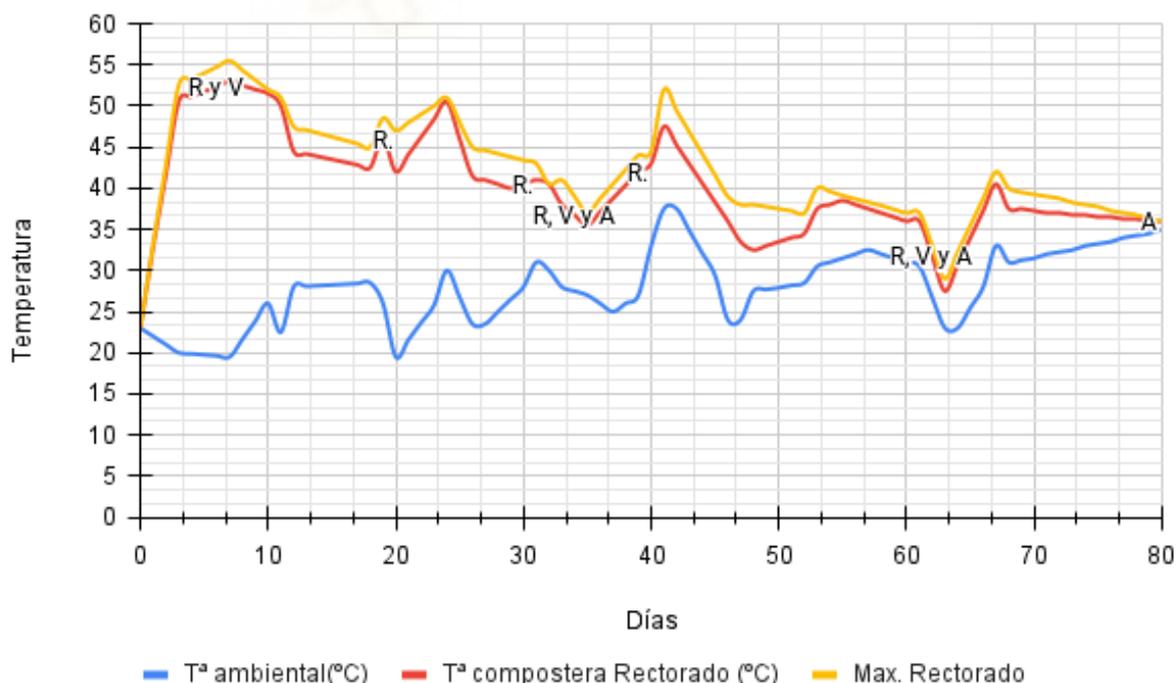
	<b>Rectorado</b>	<b>Arenals</b>
<b>Total M.O. (Kg)</b>	289,24	232,13
<b>FORS (%)</b>	62,74	54,4
<b>Total FORS (Kg)</b>	185,26	126,32
<b>Materia Vegetal (%)</b>	37,26	45,6
<b>Total Mat. Vegetal (Kg)</b>	103,98	105,81
<b>Proporción Composteras</b>	<b>1,684 : 1</b>	<b>1,19 : 1</b>

### 4.3. Evolución del perfil térmico

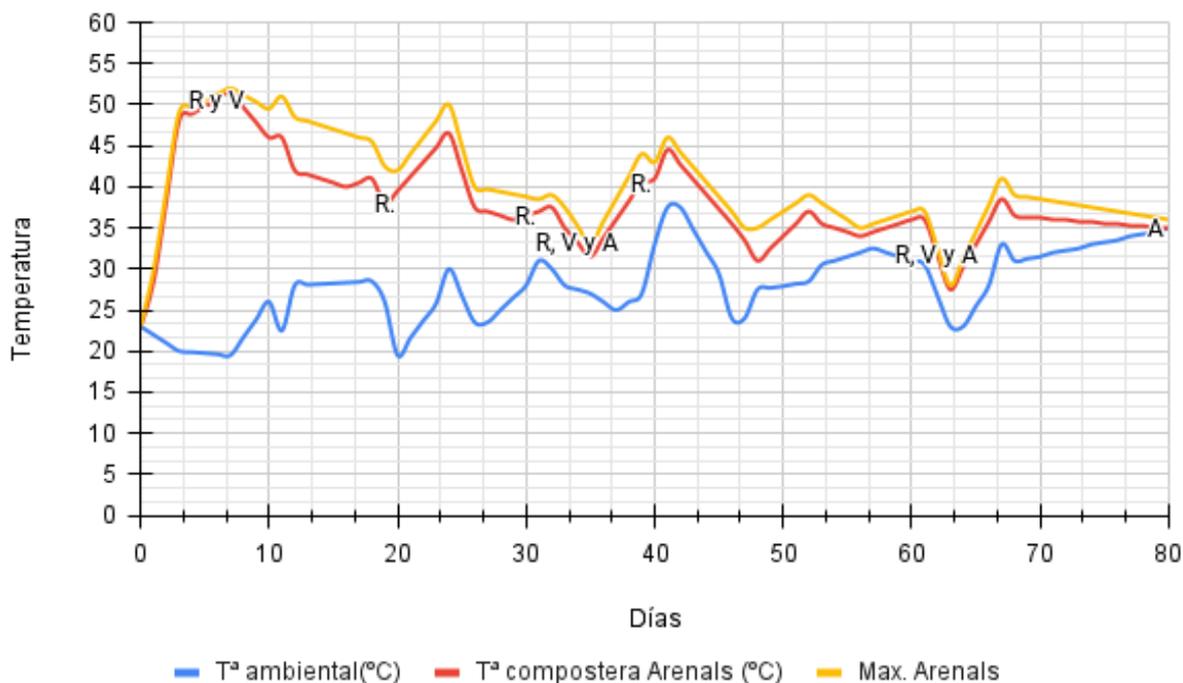
Según Gallardo, y col., (2007) la temperatura es el factor más importante a controlar en el proceso, ya que los cambios de temperatura se utilizan normalmente para medir la actividad microbiana y con ella determinar la estabilidad de la materia orgánica.

Los volteos son necesarios para aportar aireación y oxígeno a las zonas más inaccesibles de la pila. La aireación influye en la eficiencia del proceso y es uno de los parámetros más importantes para ser optimizados, debido a su efecto sobre las tasas de degradación y maduración (Tiquia, 2010). Tras los descensos, los nutrientes se ponen a disposición de los microorganismos y la actividad de estos se reanuda, aumentando nuevamente la temperatura. Kalamdhad y Kazmi (2009) indican que los volteos tienen la ventaja de exponer el material fresco a la colonización microbiana, conducen a la liberación de  $\text{NH}_3$  retenido y cuando se aumentan las frecuencias de volteo se acorta el período de estabilización activa.

Según Moreno y Mormeneo (2008), con el tiempo los máximos de temperatura disminuyen su incremento, acercándose a la temperatura ambiente y entrando en la fase mesófila de enfriamiento y maduración debido a la falta de nutrientes y mayor mineralización del sustrato. De acuerdo con García y Marín (2005) cuando la materia orgánica se ha consumido, la temperatura empieza a disminuir y las bacterias y los hongos mesófilos reinvasan el interior del compost utilizando como fuente de energía la celulosa y la lignina residuales. Finalmente, los incrementos de temperatura cesan y el compost entra en la fase de maduración. Los resultados de la medición de temperatura en ambas composteras se representan en las figuras 12 y 13.



**Figura 13: Perfil térmico de la compostera de Rectorado.**



***Figura 14: Perfil térmico de la compostera de Arenals.***

Respecto a lo mencionado anteriormente y observando los perfiles térmicos, se pueden establecer 3 periodos consecutivos de calentamiento y enfriamiento en ambas composteras. El primero y más pronunciado se da en la primera etapa, desde el día 1 hasta el día 20. La temperatura tuvo un rápido incremento durante la primera semana del proceso. A los 7 días desde el inicio se observan los mayores valores de temperatura en ambas composteras, 55,5°C en el caso de Rectorado, y 52°C en el de Arenals. En este periodo hay un descenso de temperatura hasta el día 18 en la de Rectorado y hasta el día 20 en la de Arenals, asociado al volteo producido. Los volteos conllevan el factor de pérdida de humedad y temperatura por parte de la pila al entrar en contacto con el aire, afectando a la actividad microbiana. Es por ello que la curva de temperatura muestra descensos con aumentos posteriores. La aireación, además de suministrar oxígeno a la masa de compostaje, sirve para el adecuado control de la humedad, encontrándose las mayores pérdidas de agua en la aireación por volteos (Epstein, 2011).

El día 19 la temperatura en la compostera de Arenals bajó por debajo de 40°C cesando la fase termófila hasta el día 21. Tras este día sufre un nuevo ascenso debido al riego, volviendo a entrar en la fase termófila hasta el día 25. En esta se alcanzan los 50°C el día 24 y baja de los 40°C el día 26 cesando la fase termófila hasta el día 38. El día 39 la temperatura de esta compostera volvió a alcanzar valores superiores de 40°C alcanzando la fase termófila por última vez hasta el día 43.

La compostera de Rectorado el día 20 sufre un ascenso llegando a los 51°C. Tras este día la temperatura bajó hasta el día 37 por debajo de los 40°C y cesando la fase termófila. Esta se vuelve a alcanzar el día 38 hasta el 44 donde vuelve a cesar hasta el final del proceso. A partir del día 68, se observa una disminución del nivel exotérmico del compost hasta alcanzar la temperatura ambiental. Esto es debido a que entra en fase de maduración, disminuye la actividad biológica y

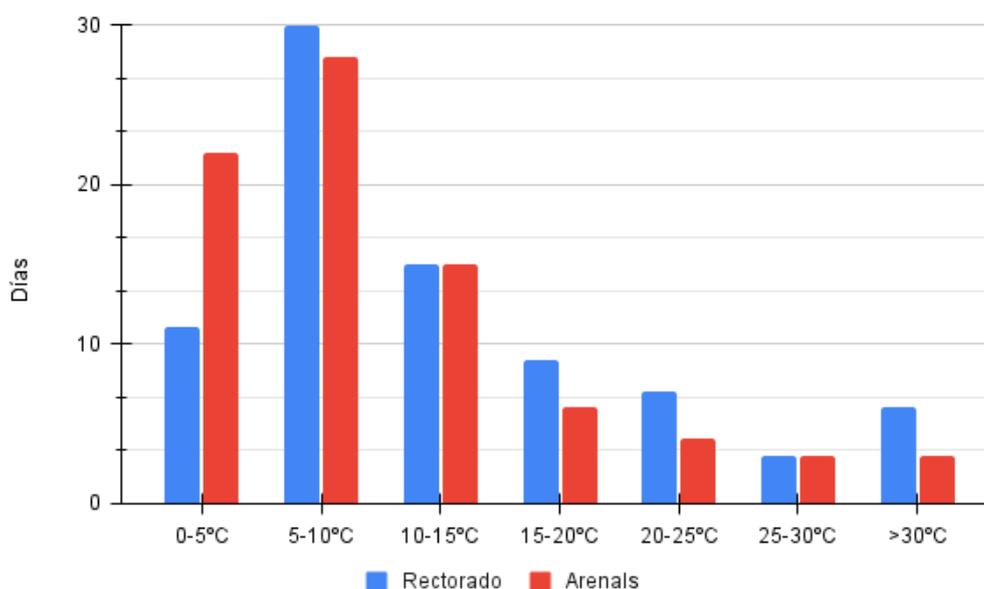
aumenta la estabilidad del producto. El incremento de la estabilidad de la materia orgánica durante el compostaje refleja el correcto progreso del proceso y se ha usado frecuentemente para definir la madurez del compost final (Benlboukht y col., 2016).

El primer riego se realizó con el primer volteo. En este momento no se notó su efecto debido a que el compost no requería de mayor humedad, aun así en los riegos siguientes si se observó un efecto beneficioso ya que el aumento de la temperatura ambiental supuso un aumento en la evaporación de la humedad. Esto mismo se puede observar de los volteos. El primer volteo realizado no conllevó un aumento de temperatura debido a que se realizó en el momento álgido de esta. La temperatura debió haberse estabilizado antes de llevar a cabo un volteo para dar lugar a que los organismos los siguiesen descomponiendo. Este acto resultó en un descenso de la temperatura que se prolongó en ambas composteras alrededor de 10 días antes de que se reactivase la actividad metabólica de los organismos. Así mismo, en los volteos realizados posteriormente si se observan cambios significativos en su temperatura. En la tabla 6 se muestran los días en los que la temperatura máxima y la fase termófila fueron alcanzadas y el período en el que esta última duró.

**Tabla 6:** Temperatura máxima, comienzo y duración fase biooxidativa.

	Rectorado	Arenals
T <sup>a</sup> . Max.	55,5	52
Día T <sup>a</sup> . Max.	7	7
1r Día T <sup>a</sup> .>40°C	2	3
Días T <sup>a</sup> .>40°C	44	31

Lo más interesante es que en el caso de la compostera de Rectorado se mantuvo la fase termófila durante un periodo superior a la de Arenals. En la figura 15 se muestra la diferencia entre su temperatura y la ambiental por días de duración en intervalos de 5°C.



**Figura 15:** Diferencia de T<sup>a</sup> entre las composteras y la ambiental.

La compostera de Rectorado tuvo un mayor grado de exotermia durante más tiempo que la de Arenals. Mientras que esta estuvo más tiempo a una diferencia de 5°C respecto de la ambiental y los mismos días que la de Rectorado a una diferencia de entre 10-15°C, esta última estuvo un mayor número de días entre todos los demás rangos de temperatura. Esta diferencia térmica entre ambas composteras nos indica que la fase termófila y la actividad microbiana fueron mayores en la de Rectorado. Como afirma Germán (2013) durante esta fase se inicia la degradación de compuestos más complejos y resistentes a la biodegradación debido a la elevada actividad biooxidativa de los microorganismos termófilos.

#### **4.4. Parámetros indicativos de la calidad del compost**

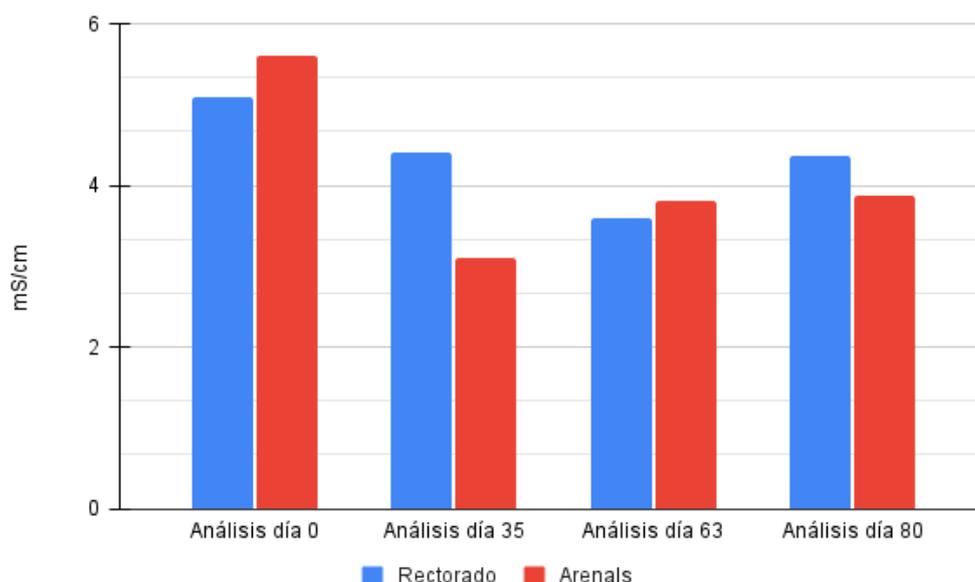
En lo relativo al pH, este varía a lo largo del proceso debido a la acción de los microorganismos. Las muestras tomadas durante todo el proceso dieron como resultado los valores que se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7:** análisis del pH de las composteras.

<b>pH</b>	<u>Día 0</u>	<u>Día 35</u>	<u>Día 63</u>	<u>Día 80</u>
Rectorado	6,6	7,8	7,8	7,6
Arenals	6,5	7,8	7,7	7,5

Inicialmente el pH fue ligeramente ácido. Por lo general el pH disminuye en los primeros días debido a la liberación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular. Posteriormente se observa un aumento del pH, como consecuencia de la degradación de compuestos con grupos carboxílicos y fenólicos de carácter ácido y la mineralización de proteínas, aminoácidos y péptidos a amoníaco (Jiménez y García 1991). Según Rynk (1992) la acidez inicial podría influir en el desarrollo de la actividad termófila, evitando que se alcancen temperaturas elevadas durante esta fase. Como era de esperar, este ascendió ligeramente a los 30 días a valores básicos de 7,8 donde en la compostera de Rectorado se mantuvo gran parte del proceso bajando en dos unidades de pH en el final del mismo. En Arenals el pH disminuyó en una unidad el mes siguiente y otras 2 unidades hasta el final del proceso. Se observa una tendencia ascendente durante el proceso, lo que se considera normal en la evolución de la fase biooxidativa, debido probablemente a la degradación de compuestos de carácter ácido y a la mineralización de proteínas, aminoácidos y péptidos a amoníaco (Paredes y col., 2000).

La CE es un parámetro cuya tendencia es el aumento a lo largo del proceso de compostaje debido a que la degradación de la materia orgánica resulta en un aumento en la concentración de sales. No obstante, esta tendencia no tiene por que cumplirse debido a que las sales formadas pueden perderse a lo largo del proceso por lavados realizados al compost para el mantenimiento de su humedad. Las muestras tomadas durante el proceso dieron los siguientes resultados mostrados en la figura 16.



**Figura 16: análisis de la CE de las composteras.**

Se observa que la CE disminuyó en ambas composteras a lo largo del proceso. Esta disminución se debe a una pérdida de sales que pudo producirse por fenómenos de lixiviación, provocados por una humectación excesiva de la misma o por la lluvia (Paredes y col., 2001). También se observa que en ambos experimentos existe una clara diferencia en la evolución de este parámetro. Mientras que en Rectorado disminuye en los 2 primeros meses del proceso y aumenta en el último, en la de Arenals disminuye durante el primer mes y aumenta en los meses siguientes hasta el final del proceso. En ambas se observa que el último mes la CE se incrementa conforme avanza el proceso de compostaje, debido a la degradación de la MO como consecuencia de la producción de compuestos inorgánicos y la concentración relativa de iones por pérdida de masa de la misma (Paredes y col., 2000). En el trabajo de Bustamante y col., (2008) se observan valores de CE superiores a los iniciales en el compost elaborado con residuos vitivinícolas, atribuidos a la volatilización de amoníaco y la precipitación de sales minerales.

Respecto a los resultados obtenidos y como mencionan Lasaridi y col., (2006), el valor de CE que un compost debe tener para no provocar efectos adversos en el suelo donde se aplique, no debe superar los 3 dS/m, por lo que los valores del compost producido están ligeramente por encima de los límites establecidos. Esta condición no invalida el uso de este compost pero si lo restringe a usos y suelos específicos.

En cuanto al contenido de MO en las composteras, las muestras tomadas durante todo el proceso dieron como resultado los valores que se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8: análisis de la MO de las composteras.**

<b>Materia orgánica</b>	<u>Día 0</u>	<u>Día 35</u>	<u>Día 63</u>	<u>Día 80</u>
Rectorado	76,70%	59%	55,40%	54%
Arenals	74,30%	53,40%	53,70%	52,20%

Se observa que la materia orgánica disminuyó en todo el proceso de compostaje debido a la mineralización de la misma. Durante el proceso la MO desciende debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de CO<sub>2</sub> (Zuconi y Bertoldi 1987). Durante el primer mes de compostaje el descenso de la MO fue mayor debido a la acción de los organismos termófilos. Este primer descenso en la concentración fue de un 17,9% en la compostera de Rectorado y un 20,9% de la de Arenals. Durante los dos meses siguientes el descenso se ralentizó y se dio una disminución del 5% en la compostera de Rectorado y del 1,2% en la de Arenals.

Según el RD 506/2013 para compost la materia orgánica debe tener una concentración MO  $\geq$  30%. Los valores obtenidos de los análisis realizados dieron como resultado unos valores superiores a los establecidos. Por este motivo el compost cumple la legislación referente a este parámetro para ser utilizado como abono orgánico.

En cuanto al contenido de nitrógeno los análisis dieron como resultado los valores mostrados en la tabla 9.

**Tabla 9: análisis del nitrógeno de las composteras.**

<b>Nitrógeno (N)</b>	<u>Día 0</u>	<u>Día 35</u>	<u>Día 63</u>	<u>Día 80</u>
Rectorado	3,20%	2,10%	1,80%	2,39%
Arenals	2,70%	2,10%	1,90%	2,31%

Se muestra una tendencia de disminución del contenido en nitrógeno a lo largo del proceso excepto al final donde aumenta. Al inicio, la disminución de este elemento es superior con un valor del 1,1% en la compostera de Rectorado y del 0,6% en la de Arenals. En el segundo mes esta disminución es inferior con unos valores de 0,4% en la de Rectorado y del 0,2% en la de Arenals. Finalmente, la concentración de nitrógeno aumenta un 0,6% en la de Rectorado y en un 0,4 en la de Arenals.

Según Paredes y col., (2002) el contenido en nitrógeno aumenta durante el proceso de compostaje probablemente debido a un proceso de concentración, como consecuencia de la pérdida de peso de la pila por degradación de la MO además de la posible fijación biológica de nitrógeno. Aun así, la pérdida de N gaseoso durante este proceso es muy variable, ya que afecta directamente su transformación durante la mineralización, volatilización de NH<sub>3</sub>, nitrificación y desnitrificación. Efectos indirectos incluyen el contenido de nitrógeno en el producto final y, por tanto, su eficacia como fertilizante orgánico (Liang y col., 2006). Por ejemplo, Szántó y col. (2007) reportan rangos de pérdida de N total de 4% a 60% y de 3% a 75% de nitrógeno inicial, como emisión de NH<sub>3</sub> principalmente.

Los niveles de fósforo en las composteras dieron como resultado los siguientes valores:

**Tabla 10: análisis del fósforo de las composteras.**

<b>Fósforo (P)</b>	<u>Día 0</u>	<u>Día 35</u>	<u>Día 63</u>	<u>Día 80</u>
Rectorado	1204ppm	1350ppm	1352 ppm	2151 ppm
Arenals	1202ppm	1511ppm	1169 ppm	2135 ppm

Se observa que la concentración de fósforo aumentó a lo largo del proceso. En su estudio Reyes (1991) y Kato y col., (2005) mencionan que el aumento gradual del fósforo durante el proceso de compostaje es resultado del efecto de la concentración causada por la biodegradación. En los 30 días siguientes observamos que la concentración de este elemento permanece prácticamente constante en la compostera de Rectorado y observamos un descenso en su concentración en la de Arenals, para después volver a aumentar en ambas hasta valores superiores a los iniciales. En el estudio realizado por Álvarez y col., (2001) obtuvieron una pérdida del 10% de Fósforo y señalan la pérdida como la posibilidad de que haya pasado a formas no disponibles, posiblemente por la presencia de suelo en el compost, producto de la poda de los residuos de jardinería.

En España, la regulación sobre el nivel de nutrientes de un producto fertilizante lo regula el RD 506/2013, donde se detallan los valores específicos aptos para cada nutriente de un producto fertilizante como es el compost. Según este decreto, el contenido en fósforo del compost no debe ser superior a 8g/Kg para ser destinado en agricultura convencional y de 4g/Kg para agricultura ecológica. Por lo tanto, los valores finales expresados en g/kg son de 2,15g/kg en la compostera de Rectorado y 2,135g/kg en la de Arenals.

Los resultados de los análisis del potasio realizados al compost producido dieron los valores mostrados en la tabla 11.

**Tabla 11: análisis del potasio de las composteras.**

<b>Potasio (K)</b>	<u>Día 0</u>	<u>Día 35</u>	<u>Día 63</u>	<u>Día 80</u>
Rectorado	1295 ppm	2195 ppm	2011 ppm	2657 ppm
Arenals	2046 ppm	2278 ppm	2190 ppm	2656 ppm

Los valores muestran un aumento de la concentración de potasio en ambas composteras en todo el proceso de compostaje. Mientras que en la de Rectorado este parámetro comenzó teniendo un valor inferior a la de Arenals, sufrió un aumento considerable de 900 ppm en el primer mes, mientras que en la de Arenals aumentó en 230 ppm. En el segundo mes, en ambas composteras disminuyó su concentración en 184 ppm en Rectorado y 88 ppm en Arenals. Finalmente, la concentración de potasio en ambas composteras quedó muy igualado superando el valor inicial en ambos casos. En su estudio Kato y col., (2005) menciona que el aumento gradual del potasio durante el proceso de compostaje es resultado del efecto de la concentración causada por la biodegradación de la materia orgánica. Según Sanzano (2011) el potasio es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, ya que, en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable. El RD 506/2013 no establece niveles concretos para este elemento.

Respecto a la higienización del producto, según el reglamento de la UE 1009/2019 existen varios criterios analíticos con relación a la temperatura alcanzada en la etapa termófila. Lo establecido en este reglamento se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12:** Criterios de higienización del compost según UE 1009/2019.

Higienización según UE 1009/2019		
Criterios	Temperatura	Días en la pila
C.1	> 70°C	3d
C.2	> 65°C	5d
C.3	> 60°C	7d
C.4	> 55°C	14d

Según este criterio, la higienización del producto se completó prácticamente debido a que las temperaturas alcanzadas rozan los valores establecidos durante el tiempo necesario.

La higienización del producto se puede mejorar realizando un aumento de la eficiencia del proceso y un mayor control de los parámetros que le afectan. Uno de estos parámetros es el de la humedad debido al clima de elevadas temperaturas en el que nos encontramos. Otras medidas para mejorar el rendimiento térmico del proceso son el control de la frecuencia de volteos para no interferir en la actividad microbiana, usar composteras mas grandes o cambiar el modelo de compostaje utilizado, ya que el tamaño es un factor que reduce las pérdidas de calor y humedad del compost al reducir la superficie de contacto de este con el aire.

## 5. Conclusiones

Respecto al estudio de la generación de residuos de la UMH por tipología se obtienen los siguientes resultados: del total de los residuos cuantificados, el 93% fueron residuos orgánicos los cuales se compostaron totalmente. Por este motivo, la reducción de los residuos producidos por parte de la cafetería disminuyó significativamente debido al proceso de compostaje.

En cuanto a la valorización de residuos orgánicos, la producción de estos por la cafetería de Rectorado fue del 82,36% del total, los cuales fueron compostados completamente. Tras esta acción se puede afirmar que gracias al proceso de compostaje se redujo la producción de residuos de esta cafetería en más de un 80%, siendo destinado a la producción de un bien para la universidad. La higienización del producto ha sido prácticamente completa ya que la temperatura alcanzada roza los valores debidos durante el tiempo necesario. En el caso de la temperatura, los mayores valores y tiempo de duración de la fase termófila se dieron en la compostera de Rectorado con un total de 39 días sobre los 26 que duró esta fase en la de Arenals. Esto permitió que la degradación de la MO en la compostera de Rectorado fuese del 22,7% mientras que en la de Arenals fue del 22,1%. De este modo, la compostera de Rectorado presentó finalmente una mayor CE asociada a un mayor grado de mineralización de la materia orgánica.

Respecto al análisis fisicoquímico del compost, el pH de ambas composteras mostraron valores dentro de los rangos establecidos por el RD 506/2013. En cuanto a su contenido en nutrientes los valores de fósforo no superan los límites establecidos por el RD 506/2013 para ser utilizado en agricultura, por lo que su uso está permitido. Respecto al nitrógeno hubiese sido interesante analizar los niveles de carbono del compost para estudiar la evolución de la relación C/N. No se establecen límites para el contenido de potasio en compost. Según el contenido de sales en ambos compost y respecto al límite mencionado, se establece que ambos compost contienen un nivel de sales ligeramente elevado para su uso convencional, por lo que este ha de hacerse de forma vigilada a fin de evitar problemas de salinización y toxicidad.

En términos generales podemos afirmar que la elaboración de compost en el campus de Elche de la UMH es una forma útil de reducir significativamente los residuos producidos, así como reutilizar los orgánicos para su uso como abono en las zonas verdes del mismo. Esta actividad se sitúa en el marco de la economía circular siendo capaz de transformar estos residuos un producto de calidad con valor añadido.

## 6. Bibliografía

*Almendros Martín, G., González Pérez, J. A., González Vila, F. J., & Rosa Arranz, J. M. (2021). El suelo y la importancia del humus.*

*Bustamante, M. A., Paredes, C., Marhuenda-Egea, F. C., Pérez-Espinosa, A., Bernal, M. P., & Moral, R. (2008). Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. Chemosphere, 72(4), 551-557.*

*Campitelli, P., & Ceppi, S. (2010). Calidad de compost y vermicompuestos para su uso como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Córdoba).*

*Carvajal Romero, H., Teijeiro Álvarez, M., & García Álvarez, M. T. (2022). Análisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa. Revista Universidad y Sociedad, 14(1), 402-415.*

*Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía circular. Economía industrial, 401(3), 11-20.*

*Coyago, E., Gonzales, K., Heredia, E., & Sánchez, R. G. (2016). Recomendaciones para la caracterización y cuantificación de residuos sólidos universitarios. caso de estudio: Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur, Quito. La Granja, 23(1), 68-79.*

*Delgado Arroyo, M. D. M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. Revista internacional de contaminación ambiental, 35(4), 965-977.*

Gallardo, A., Bovea, M. D., Contreras, R., Lapeña, L., Ingelmo, F., & Molina, M. (2007, September). Producción de compost a partir de viruta de madera y lodos estabilizados procedentes de una estación depuradora de aguas residuales urbanas. influencia de la temperatura en el proceso de compostaje. In XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Lugo (Spain) (pp. 26-28).

Gonzales, G. F., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., & Steenland, K. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(3), 547-556.

González García, D. P., & Reyes Marín, I. F. (2005). Aportes al proceso de compostaje con residuos de maltería.

González, J. A. G. (2016). Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestión y Región*, (22), 101-119.

Gordillo, F., & Chávez, E. (2010). Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros.

Isaza-Arias, G. C., Pérez-Méndez, M. A., Laines-Canepa, J. R., & Castañón-Nájera, G. (2009). Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad y ciencia*, 25(3), 233-243.

Izquierdo, C. G., & Bedmar, M. L. (2008). Rehabilitación de suelos degradados y contaminados mediante la aplicación de compost. In *Compostaje* (pp. 320-333). Mundi Prensa Madrid.

Jorge M.S (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. *Universidad Miguel Hernández*.

Luca Montanarella, Dan Pennock, Neil McKenzie (2015). Estado mundial del recurso suelo. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.

M.J. Negro, F. Villa, J. Aibar, R. Aracón, Pilar Ciria, M. V. Cristóbal, A. de Benito, A. García Martín, G. García Muriedas, C. Labrador, Carlos Lacasta Dutoit, J.A. Lezaún, R. Meco, Gabriel Pardo, M.L. Solano, C. Torner & Cristóbal Zaragoza. (2000). *Producción y gestión del compost. (CCMA) Artículos*.

M<sup>a</sup> Dolores C.P, Pilar B.R. (2010) *El uso de la información catastral como base de la penalización económica por la pérdida de suelo fértil en las explotaciones agrarias. Universidad de Jaén*.

Marga, L. M. (2022, 1 junio). *Implantación recogida separada de la fracción orgánica para la obtención de compost, y su aplicación directa en agricultura, en Santa Cruz de Tenerife*.

Martinez Velasco, M. (2016). *Utilización de la densidad aparente como herramienta en el balance de masa del proceso de compostaje de form y cuantificación y caracterización de los rechazos. caso concreto de la planta de compostaje de manresa (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya)*.

- Medina Benavides, I. O. M. *Ensayo del manejo del proceso de compostaje biodinámico en Llíria (Valencia)*.
- Medina Palacios, E. K. (2019). *La contaminación del aire, un problema de todos. Revista de la Facultad de Medicina, 67(2), 189-191.*
- Mohedo Gatón, J. J. (2004). *Estudio de la estabilidad durante el compostaje de residuos municipales.*
- Morales-Maldonado, E. R., & Casanova-Lugo, F. (2015). *Mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos, tamaño de partícula y proporción. Agronomy Mesoamerican, 365-372.*
- Navarrón Izquierdo, L. (2015). *Compostaje de tronco palmera con lodos de depuración de aguas residuales urbanas.*
- Norida S, Freiles A. (2016, 8 junio). *Manejo y separación de residuos sólidos urbanos. Análisis comparativo entre Madrid (España) y el distrito especial industrial y portuario de Barranquilla (Colombia). Observatorio Medioambiental.*
- Oviedo Ocaña, E. R., Marmolejo Rebellón, L. F., & Torres Lozada, P. (2014). *Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. Revista internacional de contaminación ambiental, 30(1), 91-100.*
- P. Torres, C. Madera, J. Silva. (Julio 2009) *Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Scielo 1-17.*
- Paco G.U. (Marzo 2019) *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Biblioteca del congreso nacional de Chile. Asesoría técnica parlamentaria.*
- Pérez, A., & Morales, J. (2008). *Aspectos técnicos en el desarrollo y control del proceso de compostaje. Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, 141-164.*
- Real Decreto 506/2013, de 28 de Junio, por el que se establece el régimen jurídico de los productos fertilizantes, BOE, núm 157, de 3 de Julio de 2013, páginas 50206 a 50228.*
- Ruiz Morales, M. (2017). *Contexto y evolución del plan de manejo integral de residuos sólidos en la universidad iberoamericana ciudad de México. Revista internacional de contaminación ambiental, 33(2), 337-346.*
- Rynk, R. (1992, 1 junio). *On-Farm Composting Handbook (NRAES 54).*
- Sandoval, V. P., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). *Economía circular. Memoria investigaciones en ingeniería, (15), 85-95.*
- Silva, A. (1998). *La materia orgánica del suelo. Montevideo: Facultad de Agronomía. 34p.*

Soliva, M., & López, M. (2004). *Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso*. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. España, 1-17.

Soto, G., & Muñoz, C. (2002). *Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica*.

Trinidad-Santos, A. (2016). *Importancia de la materia orgánica en el suelo*. *Agro productividad*, 9(8).

Velasco-Velasco, J. (2016). *Emisión de amoníaco durante los procesos de compostaje y vermicompostaje: Aspectos prácticos y aplicados*. *Agro productividad*, 9(8).

Vicente, L. M. (2017). *Estudio del compostaje como técnica para la eliminación de contaminantes emergentes (Doctoral dissertation, Universitat de València, Facultat de Ciències Biològiques)*.

