



Trabajo Fin de Grado

Evaluación de la calidad del compost comunitario producido en proyecto piloto en la isla de Tenerife y plan de mejora

Carlota Fernández Hernández

**Tutores: Luisa M^a Vera Peña
Antonio César Perdomo Molina**

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer al Excmo. Cabildo Insular de Tenerife por ceder los datos del proyecto piloto "Comunidades Circulares: Compostaje y Vermicompostaje" para su análisis. Me han dado la oportunidad de realizar un Trabajo de Fin de Grado que une la labor científica con el desarrollo sostenible. En particular, quiero agradecer a Begoña Vilar Cie y a Mayca Coello González por mostrarme el funcionamiento del proyecto y resolver todas mis dudas. También, quiero agradecer a la Dra. María Mercedes Hernández González del Servicio Fertilidad de Suelos del IPNA-CSIC por ceder los resultados de los análisis de las muestras de compost y agua.

Por otra parte, quiero reconocer la labor de Carlos Jiménez Martínez, profesor de la Facultad de Bellas Artes, por haber iniciado el proyecto "CAMPUSTAJE: Compostaje Comunitario Universitario" en la Universidad de La Laguna en 2017. Y por supuesto, quiero dar las gracias a mis tutores por asesorarme: a Luisa M. Vera Peña, por ayudarme y ser tan cercana; y a Antonio C. Perdomo Molina, por enseñarme el mundo de la agricultura ecológica. Gracias a los tres por fomentar el cambio a través de la participación del alumnado.

Por último, me gustaría darle las gracias a todas las personas maravillosas que me han acompañado durante mi camino por Ciencias Ambientales. En especial, gracias a mis padres, Rosi y Pedro Luis; a mi abuelo Carlos; y al resto de la familia que he tenido la suerte de elegir, Luna, Ginny, Carmen y Hugo. Y no me puedo olvidar de darme las gracias a mí misma, por mi constancia, mi resiliencia y mis ganas de seguir aprendiendo.

AUTORIZACIÓN TRABAJO FIN DE GRADO

Dña. Luisa M^a Vera Peña, Profesora Titular de Universidad en el área de Ingeniería Química del Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica y D. Antonio César Perdomo Molina, Profesor Asociado en el área de Producción Vegetal del Departamento de Ingeniería Agraria y del Medio Natural, como docentes en el Grado en Ciencias Ambientales durante el curso académico 2022-2023

HACEN CONSTAR:

Que la memoria del Trabajo de Fin de Grado titulada: **“Evaluación de la calidad del compost comunitario producido en proyecto piloto en la isla de Tenerife y plan de mejora”**, presentada por la alumna **Carlota Fernández Hernández**, ha sido realizada bajo mi tutorización, reuniendo las condiciones necesarias, según requisitos del reglamento y guía docente de la asignatura, para su defensa.

Y para que conste y surta los efectos oportunos, firmo la presente en La Laguna, a 25 de mayo de 2023.

Fdo. Luisa M^a Vera Peña

Fdo. Antonio César Perdomo Molina

Este documento incorpora firma electrónica, y es copia auténtica de un documento electrónico archivado por la ULL según la Ley 39/2015.
La autenticidad de este documento puede ser comprobada en la dirección: <http://sede.ull.es/validacion>

Identificador del documento: 5439666 Código de verificación: FL1cY4M1

Firmado por: Luisa María Vera Peña
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

Fecha: 25/05/2023 19:45:18

Antonio César Perdomo Molina
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

25/05/2023 21:18:26

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Los residuos sólidos: situación actual y problemática	1
1.1.1. Los residuos sólidos urbanos (RSU)	2
1.1.2. Clasificación de los residuos sólidos urbanos.....	2
1.1.3. Características de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.....	3
1.2. Tratamientos para la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos	3
1.3. Reglamentación relativa a los residuos sólidos	4
1.3.1. Reglamentación específica de los residuos sólidos urbanos	5
1.4. Tipos de compostaje: comunitario y en planta	5
1.4.1 Caracterización de la calidad de un compost.....	6
1.5. Proyecto de Compostaje Comunitario en Tenerife	8
2. OBJETIVOS	9
3. PARTE EXPERIMENTAL.....	9
3.1. Composteras, objeto de estudio.....	9
3.1.1. Composteras del Campus ULL.....	10
3.1.2. Composteras de San Cristóbal de La Laguna	10
3.1.3. Composteras de Tegueste	10
3.2. Metodología	11
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1. Resultados del proyecto piloto “Comunidades Circulares”	13
4.2. Calidad y características de los compost	14
4.3. Incidencias detectadas en el proyecto “Comunidades Circulares”	25
4.4. Plan de Mejora.....	28
4.4.1. Plan de Gestión.....	28
4.4.2. Plan de Muestreo	30
5. CONCLUSIONES.....	32
6. BIBLIOGRAFÍA	33
6.1. Bibliografía científico-técnica.....	33
6.2. Normativas.....	34
Anexo I	35
Anexo II.....	41

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado ha tenido como finalidad, evaluar la experiencia piloto de compostaje comunitario en la isla de Tenerife entre los años 2021 y 2022 en el marco de la nueva Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Para ello, se ha hecho un tratamiento numérico-estadístico y gráfico de los datos recogidos por el Área de Desarrollo Sostenible y Lucha contra el Cambio Climático del Excmo. Cabildo Insular de Tenerife. Se han elegido las zonas de Los Zamorano en Tegueste, el Aulario Guajara en la Universidad de La Laguna y el Huerto de San Matías en La Laguna para comparar los resultados del proceso de compostaje en una comunidad vecinal, en un entorno universitario y en un huerto comunitario, respectivamente.

Con este fin, se han analizado las principales variables que influyen en la calidad de un compost elaborado con biorresiduos. Estas son temperatura, humedad, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, relación C/N, parámetros microbiológicos y metales pesados. Además, se han identificado las incidencias detectadas durante el proceso de compostaje y el desarrollo del proyecto piloto. En base a ello, se ha elaborado un Plan de Mejora de cara a la implantación de nuevos proyectos de compostaje comunitario en la Isla.

Se concluye que para diseñar un proyecto de compostaje comunitario exitoso es necesario contar con composteras modulares situadas en lugares visibles y de libre acceso en las que se aporten todo tipo de residuos orgánicos domésticos. El seguimiento y mantenimiento semanal de las composteras es esencial para garantizar el correcto funcionamiento del proceso de compostaje. Para realizar estas labores, así como la dinamización del proyecto, es fundamental la figura del maestro compostador y por ello, debe existir, al menos, uno por municipio y uno en la Universidad de La Laguna.

Palabras clave: Compostaje Comunitario; Compostera Modular; Biorresiduos; Parámetros de Calidad; Incidencias; Plan de Mejora; Maestro Compostador

Abstract

The purpose of this Final Degree Project was to evaluate the pilot experience of community composting on the island of Tenerife between 2021 and 2022 within the framework of the new Law 7/2022 on waste and polluted soils for a circular economy. For this, a numerical-statistical and graphic treatment of the data collected by the Area of Sustainable Development and Fight against Climate Change of the Council of Tenerife was processed. The areas of “Los Zamorano” in Tegueste, “Aulario Guajara” at the University of La Laguna and “Huerto de San Matías” in La Laguna have been chosen to compare the results of the composting process in a neighbouring community, in a university environment and in a community garden, respectively.

For this purpose, the main variables that influence the quality of a compost made with biowaste have been analysed. These are temperature, humidity, pH, organic matter, electrical conductivity, C/N ratio, microbiological parameters, and heavy metals. In addition, the incidents detected during the composting process and the development of the pilot project have been identified. Based on this, an Improvement Plan has been prepared for the implementation of new community composting projects on the Island.

It is concluded that in order to design a successful community composting project, it is necessary to have modular compost bins located in visible and freely accessible places in which all types of domestic organic waste are contributed. Weekly monitoring and maintenance of the compost bins is essential to guarantee the correct functioning of the composting process. To carry out these tasks, as well as the dynamization of the project, the figure of the master composter is fundamental. For this reason, there must be at least one per municipality and one at the University of La Laguna.

Key words: Community Composting; Modular Compost Bin; Biowaste; Quality Parameters; Incidents; Improvement Plan; Master Composter

1. INTRODUCCIÓN

Según el Perfil Ambiental de España 2020, se generaron 476 kg de residuos sólidos por habitante en 2019, es decir 1,30 kg/hab al día. De ellos, más del 50% acaban en vertederos, tan solo el 18% se reciclan y menos del 17% se compostan. A nivel mundial¹, se generan 0,74 kg/hab de media al día, pero es un dato que varía según el nivel de renta de cada país y suele encontrarse entre 0,11 y 4,54 kg/hab al día. En general, aquellos países con rentas medio-bajas son los que más residuos generan debido a que se hallan en una fase de desarrollo industrial. Sin embargo, a medida que la renta de los países aumenta, presentan una tasa de reciclaje mayor. Aun así, a nivel global el 37% de los residuos sólidos acaban en el vertedero, el 33% se libera al medio, el 19% se recicla o composta y el 11% se incinera¹.

1.1. Los residuos sólidos: situación actual y problemática

La generación y gestión de residuos sólidos es un problema ambiental de actualidad, puesto que genera una serie de impactos sobre el medioambiente y la salud pública. Entre dichos efectos ambientales destacan su contribución al cambio climático por la emisión de metano y dióxido de carbono derivada de su tratamiento; así como su difusión y contaminación por el medio natural y urbano. Esto, unido a la liberación de sustancias potencialmente tóxicas contenidas en los residuos sólidos y la introducción de los propios residuos (en forma de partículas, como los microplásticos) en la cadena trófica, puede desencadenar numerosos problemas de salud².

Para entender la problemática de los residuos hay que atender a las siguientes circunstancias: el ser humano ha provocado la quiebra del ciclo natural de la materia: ha aumentado el consumo y la producción de desechos, pero impide su descomposición, entre otras razones, por la popularización de materiales sintéticos resistentes a biodegradación. Cada día la creciente población del planeta genera millones de toneladas de basura y este hecho se ve agravado en las ciudades, donde se reciben muchos productos del exterior que, al convertirse en residuo, no vuelven a su lugar de origen, sino que se acumulan en las plantas de tratamiento. Además, últimamente el consumismo está más de moda: se consumen más productos, de un solo uso y con mayor cantidad de envases, provocando el despilfarro de materias primas y recursos no renovables. Por otra parte, encontrar espacio suficiente y lejos de la población para instalar nuevos vertederos controlados cuando se colmatan los existentes, es otro problema importante asociado a esta problemática, especialmente en territorios reducidos como los insulares. Todo esto lleva al último punto: la falta de sensibilización y responsabilidad ciudadana que impide comprender que el crecimiento ilimitado no es posible sin el agotamiento de recursos y el incremento de la contaminación del medio que nos rodea³.

La tendencia general de la producción de residuos se muestra al alza. En 2016 se generaron 2,01 billones de toneladas de residuos sólidos urbanos en el planeta¹. Se espera que esta cantidad aumente hasta 3,40 billones en 2050 si no se toman medidas drásticas. Las causas de este aumento global son el crecimiento poblacional y económico ilimitados. De nuevo, los países de media a baja renta serán los que experimenten un aumento más drástico en la cantidad de residuos generados; mientras que los de rentas altas sufran un aumento menor y más gradual, gracias a la adopción de políticas ambientales (Fig. 1.1).

Las políticas ambientales del siglo XXI siguen una jerarquía a la hora de minimizar los residuos: prevenir, preparar para reutilizar, reciclar, valorizar y eliminar (aislar). De esta forma, se prioriza la reducción de la generación de residuos y de su peligrosidad, para lo cual se han establecido diferentes metas a lo largo de los últimos años. En España, el Programa de Prevención de Residuos 2014-2020 fijó como objetivo para 2020, una reducción del 10% con

respecto a la basura total generada en 2010; sin embargo, solo se consiguió una disminución del 5,6%. A pesar de ello, los nuevos objetivos para el 2025 y el 2030 son del 13% y 15% con respecto a 2010, respectivamente².

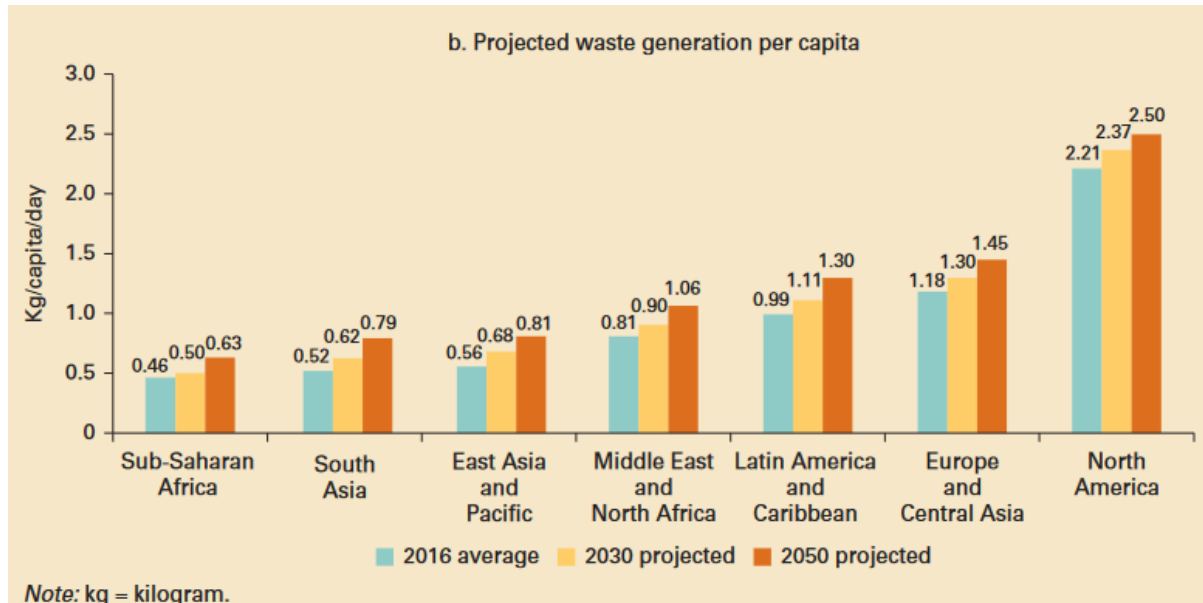


Figura 1.1. Generación diaria de residuos (kg per cápita al día) de los distintos grupos de países en 2016 y sus proyecciones para los años 2030 y 2050. Fuente: The World Bank, 2018.

1.1.1. Los residuos sólidos urbanos (RSU)

En el artículo 4 de la Ley 1/1999 de Canarias, se definen los residuos sólidos urbanos (RSU) como “el conjunto de residuos en estado sólido de origen doméstico, de comercios y de oficinas y servicios, así como otros de características similares”. Estos mismos son llamados residuos municipales en la nueva Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

Los RSU tienen una composición que varía según la época del año y el nivel de renta de la zona: cuanto mayor es la renta, menor es la proporción de la fracción orgánica, ya que aumenta la cantidad de envases (especialmente los plásticos) que acompañan a la comida. En cuanto a su composición, se distinguen dos fracciones:

- Fracción orgánica: restos de comida, poda, papel y cartón, etc.
- Fracción inorgánica: vidrio, plástico, metal, etc.

Los RSU también presentan una serie de características que pueden ser medidas: peso específico, contenido hídrico, permeabilidad, contenido energético y composición química.

1.1.2. Clasificación de los residuos sólidos urbanos

Los residuos domésticos, también conocidos como residuos sólidos urbanos, se pueden clasificar de la siguiente forma⁴:

- Aceites de cocina
- Aparatos eléctricos y electrónicos
- Biorresiduos
- Envases ligeros
- Medicamentos
- Papel y cartón
- Pilas y baterías

- Textil y calzado
- Vidrio
- Otros

1.1.3. Características de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos

Los biorresiduos son aquellos restos orgánicos que pueden biodegradarse y que, a su vez, se dividen en fracción orgánica y poda. La primera está constituida por restos sobrantes de comida y de su preparación, así como por restos vegetales no leñosos de pequeño tamaño; mientras que la segunda, se compone de restos vegetales leñosos y de mayor tamaño.

Si la fracción orgánica no se gestiona adecuadamente, genera malos olores, ocupa mucho espacio en los vertederos y puede aumentar tanto su temperatura, que puede provocar combustiones espontáneas.

1.2. Tratamientos para la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos

La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) puede descomponerse biológicamente bajo condiciones controladas, de forma que pueda almacenarse o ser utilizada sin peligro. A continuación, se consideran tres vías: compostaje, digestión anaerobia y valorización energética. Cada uno de estos tratamientos presenta una serie de ventajas e inconvenientes y precisa de unas condiciones específicas⁵.

El compostaje consiste en una degradación en condiciones aerobias de la FORSU, en la que se estabiliza la materia orgánica y se obtiene un producto de alta calidad que puede usarse en la agricultura. La calidad del compost viene definida por un olor y color aceptables, higienización correcta, bajo nivel de impropios y contaminantes, alto nivel de componentes de interés agronómico (N, P, K, etc.) y composición constante. Los microorganismos que intervienen en este proceso se ven afectados por las siguientes condiciones ambientales: temperatura, aireación, humedad, nutrientes, pH y conductividad.

Cuando un compost es de alta calidad, proporciona importantes beneficios al suelo como mejorar sus propiedades fisicoquímicas, aumentar su capacidad tampón (buffer), la cantidad de nutrientes, su capacidad de intercambio catiónico (CIC) y su capacidad de retener agua, reducir la toxicidad de algunos compuestos y secuestrar sustancias tóxicas, así como, favorecer la salud de la flora microbiana. Sin embargo, cuando el compost es de mala calidad puede generar sustancias fitotóxicas, materia orgánica no estabilizada, patógenos y contaminantes peligrosos como los metales pesados.

La digestión anaerobia consiste en una fermentación catalizada por bacterias en condiciones anaerobias, en la que la materia orgánica se estabiliza parcialmente y se transforma principalmente, en CO₂ y CH₄ (biogás). Los microorganismos que llevan a cabo este proceso se ven afectados por una serie de factores ambientales: temperatura, humedad, pH, potencial redox, poder tampón, nutrientes, desarrollo estable de las etapas del proceso, tiempo de retención y agitación.

La digestión anaerobia es ampliamente utilizada, pues tiene varias ventajas: eliminación de malos olores, estabilización y mineralización parcial de la materia orgánica, balance energético positivo (generación de biogás), homogenización de la composición del residuo e higienización parcial. Por otra parte, también presenta algunos inconvenientes, como la complejidad del proceso (del cual hay que controlar numerosos parámetros) y el alto coste de implantación de las instalaciones necesarias.

La valorización energética es un proceso termoquímico que consiste en la incineración de la materia orgánica para obtener energía, a partir del calor liberado en las reacciones químicas. Para evitar la formación de productos parcialmente oxidados como el monóxido de carbono

(CO) se procura la combustión completa asegurando que haya un exceso de O₂. Además de este requisito, existe una serie de condiciones que se deben cumplir para que ocurran las reacciones químicas: alta temperatura, tiempo mínimo y turbulencia para que el residuo y el oxígeno puedan tener un buen contacto.

La incineración genera un gran rechazo social principalmente debido a la generación de emisiones de gases contaminantes como el ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas, metales pesados (Hg, Cd, Ti, As, Ni, etc.), dioxinas y furanos. También se generan emisiones sólidas indeseables, necesita instalaciones caras y complejas y no se puede aplicar a residuos con humedad alta. A pesar de ello, tiene varias ventajas a considerar: reduce en gran medida la masa y el volumen de los residuos, se valorizan fracciones de residuos que de otro modo hubieran acabado en vertederos y recupera energía.

1.3. Reglamentación relativa a los residuos sólidos

La normativa a considerar en materia de residuos es:

En cuanto a la gestión de residuos:

- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos (directiva marco de residuos).
- Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.
- Ley 1/1999, de 29 de enero, de residuos de Canarias.

En el campo de la planificación de la gestión de residuos:

- Resolución de 16 de noviembre de 2015, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de noviembre de 2015, por el que se aprueba el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022.
- 148 DECRETO 160/2021, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Plan Integral de Residuos de Canarias 2021-2027.
- Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos (PTEOR) de Tenerife.

En cuanto a los fertilizantes:

- 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 comercialización de los productos fertilizantes UE y se modifican los Reglamentos (CE) n° 1069/2009 y (CE) n° 1107/2009 y se deroga el Reglamento (CE) n° 2003/2003.
- Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. En él, se establecen una serie de valores límite para los parámetros físicos, químicos y biológicos de una Enmienda Orgánica de tipo compost, que es aquel “producto higienizado y estabilizado, obtenido mediante descomposición biológica aeróbica (incluyendo fase termofílica), bajo condiciones controladas, de materiales orgánicos biodegradables del ANEXO IV, recogidos separadamente”.
- Real Decreto 1051/2022, de 27 de diciembre, por el que se establecen normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios. En él se prohíbe el uso de fertilizantes que sobrepasen ciertos valores límites de metales pesados y otros contaminantes. Sin embargo, en el ANEXO IV apartado A.1. se refiere al RD 506/2013 para establecer

límites más restrictivos en cuanto a los fertilizantes recogidos en esa norma, entre los que se encuentra la Enmienda Orgánica de tipo Compost.

1.3.1. Reglamentación específica de los residuos sólidos urbanos

La Unión Europea ha marcado con la directiva 2008/98/CE las pautas para mejorar la gestión de los residuos sólidos urbanos en el contexto de la economía circular. Su objetivo es hacer efectiva la jerarquía de la gestión de residuos, en la que se prioriza, la prevención. Un objetivo fundamental que deben cumplir los estados miembros antes del 31 de diciembre de 2023, es la separación en origen de los restos orgánicos domésticos y de la fracción poda de parques y jardines, lo que en conjunto se denomina “biorresiduos”⁶.

1.4. Tipos de compostaje: comunitario y en planta

Existen varios métodos de compostaje, según la escala a que se realice. Así se encuentra: el compostaje individual, el comunitario y el industrial o en planta. A continuación, se valoran las ventajas y desventajas de las dos últimas opciones.

El compostaje en planta es aquel que se desarrolla a gran escala, en unas instalaciones donde se controla principalmente la aireación⁷. Los sistemas más populares son en montones dinámicos, en pilas estáticas y en reactores. El primero, también llamado *windrow* es el más popular y económico, consistiendo en montones alargados que se airean por convección natural junto a volteos periódicos. Las pilas estáticas, en cambio, permanecen inmóviles y son aireadas mediante un sistema bajo la pila, lo cual aumenta su coste. El último sistema, también llamado *in-vessel*, utiliza un reactor para airear y homogeneizar el compost, acelerando el proceso; sin embargo, requiere una gran inversión.

Una de las ventajas del compostaje en planta es que no depende de los aportadores, como se verá en el caso del compostaje comunitario. En esta modalidad, el proceso está gestionado por técnicos y operarios formados, lo cual dará lugar a un menor número de incidencias que puedan empeorar la calidad del producto final. Por otra parte, se puede elegir en base al coste económico, siendo más barato, el método de montones dinámicos. A partir de ahí se pueden elegir otros procedimientos más tecnificados, según las necesidades de la planta. Esto permite adaptar el compostaje en planta a zonas en cualquier etapa de desarrollo socioeconómico.

El compostaje a nivel industrial consiste en la gestión a gran escala de los biorresiduos, por lo que precisa de grandes infraestructuras y de un servicio centralizado de recogida y transporte de residuos. Presenta dificultades en muchas localidades españolas que carecen de espacios y recursos destinados a la gestión de residuos. Además, aunque ya tuvieran instalaciones, requerirían unas nuevas específicas para el tratamiento de los biorresiduos, adaptadas a las necesidades de cada localidad. De esta forma, tomarían más tiempo (unos dos años) y recursos para comenzar a estar operativas, lo cual supone un problema ante las exigencias de la Unión Europea y la crisis económica actual⁶.

Por todo ello, el compostaje descentralizado a pequeña escala ha surgido como una alternativa eficiente en España⁶. En un inicio, ha aparecido en forma de proyectos piloto como “Comunidades Circulares: Compostaje y Vermicompostaje”, que se analizará en el presente trabajo. Sin embargo, en la última década, otras zonas como Navarra y País Vasco, y especialmente Cataluña, han desarrollado el compostaje comunitario como su principal modelo de gestión de biorresiduos. Este sistema de compostaje es el que se realiza en un espacio común y cercano donde diferentes aportadores colaboran en el desarrollo del abono orgánico.

El compost comunitario contribuye positivamente al desarrollo socioeconómico y ambiental de la localidad donde se realiza. Aumenta la participación de la ciudadanía, así como su

sentimiento de comunidad y su conciencia ambiental; y ayuda en la creación de puestos de trabajos relacionados con el desarrollo sostenible. Además, se mejora la calidad del producto final, ya que hay un mayor control del proceso; a la vez que se mejora la calidad y cantidad de los otros tipos de residuos, en especial, de la fracción resto. Por último, se puede convertir en una alternativa (por sí sola o complementaria) a los modelos centralizados de gestión de biorresiduos en zonas rurales y semiurbanas, que son las más abundantes en el territorio canario.

Las desventajas del compost comunitario residen en su dependencia de los aportadores y el maestro compostador. Los primeros, en muchos casos, no cuentan con un nivel suficiente de formación y sus malas prácticas pueden desencadenar una serie de incidencias que, más allá de empeorar la calidad del producto final, también contribuyen a que los participantes abandonen la iniciativa. Estas incidencias son la presencia de dípteros, cucarachas y roedores, atraídos por la fermentación o el abandono de la compostera; escasez de humedad que provoca un llenado más rápido; la aparición de lixiviados y malos olores por falta de aireación o por una proporción inadecuada de biorresiduos y estructurante; la presencia de impropios como bolsas de plástico que deriva en otros problemas; y el dimensionado inadecuado que impide alcanzar las condiciones de proceso adecuadas⁶.

Como se ha comentado previamente, existen varias experiencias exitosas en Cataluña, País Vasco, Navarra y Galicia. En el País Vasco el municipio semi-rural de Itsasondo gestiona de esta forma el 100% de sus biorresiduos y, de la misma manera, la Isla de Zuhatza en Álava gestiona los restos generados en su albergue juvenil⁶. En Galicia, la diputación de Pontevedra ha puesto en marcha el Plan Revitaliza, acogido por 47 municipios, algunos de ellos con su propio plan, como Vilaboa y Mondariz. En este proyecto se incluyen tanto composteras comunitarias e individuales como en planta, con el objetivo de gestionar la totalidad de los biorresiduos a través del compostaje⁸. Finalmente, Navarra presenta 43 puntos de compostaje comunitario e individual en la mancomunidad de Pamplona. Se comenzó en 2009 con proyectos piloto y en la actualidad se publica un boletín trimestral con noticias, datos, y otras iniciativas relacionadas como concursos de calidad de compost, fiestas, seminarios, etc. que completan la experiencia y la hacen más atractiva⁹.

1.4.1 Caracterización de la calidad de un compost

El compost es el producto de un proceso de degradación biológica que se puede dividir en cuatro etapas: descomposición mesófila, descomposición termófila, descomposición mesófila de enfriamiento y maduración (Fig. 2). Se caracterizan por los microorganismos que actúan en cada fase, lo cual está relacionado a su vez con los valores de pH y temperatura que se alcanzan. Durante su formación se deben controlar una serie de parámetros para garantizar la proliferación de microorganismos y asegurar la optimización del tiempo y de los costes del proceso. Existen dos tipos de parámetros a monitorizar: parámetros de seguimiento y parámetros relativos a la naturaleza del sustrato¹⁰.

La temperatura es el parámetro principal que se debe observar, pues indica en qué fase de la descomposición aerobia se encuentra la pila de compost. En la primera fase mesófila la temperatura permanece por debajo de los 45°C; en la fase termófila, por encima de los 45°C y por debajo de los 65°C⁷; y en la segunda fase mesófila (de enfriamiento) recupera otra vez la temperatura ambiente. En la normativa de la Unión Europea no se hace referencia a los requerimientos para considerar que un compost está higienizado. No obstante, la EPA (Agencia Estadounidense de Protección del Medioambiente) establece que es suficiente con mantener una temperatura igual o superior a 40°C durante 4 días y superior a 55°C durante 5 horas⁷⁷

Por otra parte, en España existen dos normativas autonómicas: tanto el Decreto 63/2019 del País Vasco como la Orden 18/2018 de la Comunidad Valenciana exigen al menos 14 días consecutivos a una temperatura superior a 55°C.^{6 6}

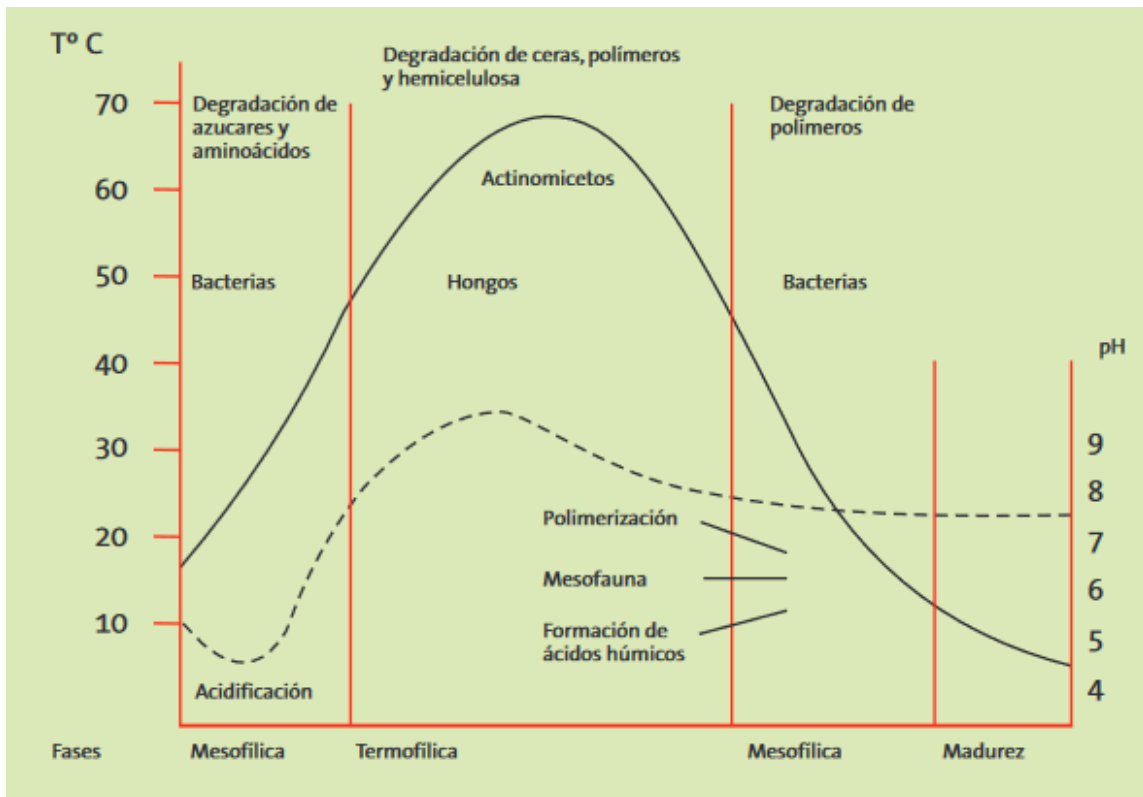


Figura 1.2. Evolución de la temperatura, pH y microorganismos de un compost. Fuente: Álvarez, J., 2014.

Los parámetros de seguimiento deben encontrarse entre unos valores determinados durante todo el proceso. Estos son temperatura, humedad, pH y aireación.

La temperatura es el parámetro principal que se debe observar, pues indica en qué fase de la descomposición aerobia se encuentra la pila de compost. En la primera fase mesófila la temperatura permanece por debajo de los 45°C; en la fase termófila, por encima de los 45°C y por debajo de los 65°C⁷; y en la segunda fase mesófila (de enfriamiento) recupera otra vez la temperatura ambiente.

La humedad también es una variable importante, pues si los poros del compost se encuentran anegados, dará lugar a una anaerobiosis, inhibiendo el crecimiento microbiano y ralentizando el proceso. Para el caso concreto de los residuos sólidos urbanos, el intervalo óptimo inicial estará en 50-55%¹⁰; pero el final debe estar por debajo del 40% según el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

El pH es un indicador de períodos anaerobios en el proceso de compostaje, ya que en esos momentos se liberan ácidos orgánicos que disminuyen el pH. En la primera fase mesófila se acidifica el medio debido a la actividad microbiana que genera ácidos orgánicos; en la fase termófila se alcaliniza el medio por la generación de amoníaco en la descomposición de proteínas; y en la fase mesófila de enfriamiento el pH regresa a valores neutros (entre 7 y 8) debido a la producción de sustancias húmicas que tienen efecto tampón¹⁰.

La aireación es una variable fundamental, pues se deben garantizar las condiciones aerobias para que los microorganismos realicen su actividad. Tanto la insuficiencia como el exceso de aireación conllevan el retardo del proceso, puesto que en el primer caso se dan condiciones de anaerobiosis y en el segundo, se reseca y enfría la pila de compost. En el interior de dicha pila, a unos 60 cm, el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2%. Para medir la concentración de oxígeno se necesitan equipos costosos, pero también se puede hallar indirectamente a través de la humedad y temperatura.

Los parámetros relativos a la naturaleza del sustrato deben estar en unos valores adecuados al inicio del proceso. Entre ellos se encuentran tamaño de partícula, relación C/N, materia orgánica y conductividad eléctrica.

El tamaño inicial de partícula, es decir, del material a compostar, es una variable de optimización del proceso. Al ser triturados aumenta la superficie expuesta a la acción de microorganismos, por lo que aumenta la velocidad de la reacción. Sin embargo, un desmenuzado demasiado fino provocaría la compactación de la pila, inhibiendo la aireación natural y, por ende, la actividad microbiana.

Debido a que el carbono y nitrógeno son los nutrientes más importantes, la relación C/N es un parámetro fundamental para la actividad microbiana. Se considera que el valor óptimo inicial se encuentra en el intervalo de 25 a 30 en peso⁷. Este valor disminuye a medida que evoluciona el compost, hasta un intervalo final ideal de 10 a 15⁷; aunque el Real Decreto 506/2013 solo exige que sea menor de 20. Si la relación C/N es superior a 40, el proceso se ralentiza; mientras que, si es muy baja, se libera el nitrógeno en exceso en forma de amoníaco, que es un gas de efecto invernadero.

La materia orgánica es el parámetro que determina la calidad agronómica del compost. Durante la evolución del proceso disminuye su cantidad debido a la mineralización del carbono y su pérdida en forma de CO₂. Según el Real Decreto 506/2013 debe contener una materia orgánica total mínima de 35%.

Por último, la conductividad eléctrica (CE) está condicionada por el material inicial. En este caso, se debe destacar que los residuos sólidos urbanos pueden generar valores altos de conductividad eléctrica¹¹. Durante la formación del compost, este parámetro aumenta debido a la mineralización del carbono. La cantidad de enmienda que se añade a un cultivo dependerá de su CE, pues un valor alto dificulta la absorción de agua para las plantas⁷. En el RD 506/2013 no se hace ninguna alusión a este parámetro. Tomando como guía la Norma Chilena de Compost, el límite máximo para un compost de alta calidad (Clase A) es 5 mS/cm; mientras que para uno de calidad intermedia (clase B) es 12 mS/cm.

1.5. Proyecto de Compostaje Comunitario en Tenerife

El Área de Desarrollo Sostenible y Lucha contra el Cambio Climático del Cabildo de Tenerife ha desarrollado entre 2021 y 2022 el proyecto piloto “Comunidades Circulares: Compostaje y Vermicompostaje” en los municipios de El Rosario, Tacoronte, Tegueste y San Cristóbal de La Laguna. Esta acción se inspira en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU, con la intención de extenderlo al resto de la isla a medio plazo¹².

Este proyecto piloto pretendía tratar los “biorresiduos procedentes de domicilios particulares, comedores universitarios, mercados de productos frescos locales, huertos urbanos agroecológicos y centros educativos [...] de origen vegetal”¹². Para ello, se establecieron 19 puntos de compostaje, cada uno con 3 o 6 módulos de compostaje, o en el caso del vermicompostaje, con un prototipo de vermicompostera comunitaria. Los datos que se analizan en este trabajo han sido aportados por el personal de dicho proyecto.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente Trabajo Fin de Grado ha sido el diagnóstico de la situación del compostaje comunitario en la isla de Tenerife, evaluando las experiencias piloto que se han desarrollado en el último año.

A partir de la información recogida por el Área de Desarrollo Sostenible y Lucha contra el Cambio Climático del Cabildo de Tenerife se han desarrollado los siguientes objetivos específicos:

- Clasificación de la información recogida.
- Tratamiento numérico-estadístico y gráfico de la información
- Definición de las principales variables de operación que influyen en la calidad del compost elaborado a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU).
- Identificación de las incidencias y deficiencias detectadas durante el proceso de compostaje.
- Elaboración de un plan de mejora que intente dar respuesta y subsanar las deficiencias detectadas.

3. PARTE EXPERIMENTAL

Este trabajo ha precisado de una revisión bibliográfica relativa a los factores que influyen en la calidad de un compost y de las buenas prácticas para el compostaje comunitario para analizar si estos se cumplen en el proyecto “Comunidades Circulares: Compostaje y Vermicompostaje”, tras el tratamiento de los datos disponibles.

A continuación, se describe tanto el equipamiento utilizado como la metodología seguida.

3.1. Composteras, objeto de estudio

Las composteras utilizadas en el proyecto “Comunidades Circulares: Compostaje y Vermicompostaje” están fabricadas por la empresa Elkarkide y son de tipo modular [ANEXO II]. Con unas medidas de 100x100x100 cm, su capacidad es de 1 m³. Su estructura está formada por perfiles de acero galvanizado y tabloncillos de plástico que permiten su desmontaje para facilitar las labores de trasvase de un módulo a otro. La empresa aconseja el pavimento de losa perforada de césped (pavi-césped) para crear una superficie en la que se facilite el drenaje de lixiviados y el paso de fauna beneficiosa para el compostaje.

El modo de operación ideal sería la unión de tres módulos: aportación, donde se depositan los biorresiduos frescos; higienización, donde se desarrolla la fase termófila; y maduración, donde se reduce el volumen del compost. Además, cada zona de compostaje debe tener un almacén de herramientas, material estructurante y un punto de acceso a agua para las labores de humidificación del compost y limpieza de los cubos donde se transportan los biorresiduos. Según el fabricante, una isla de tres módulos sería capaz de gestionar los biorresiduos generados por 50-65 personas al año en una zona rural.

Para este estudio se han escogido zonas de compostaje de los municipios de San Cristóbal de La Laguna y de Tegueste, diferenciando las que están dentro del Campus de la Universidad de La Laguna de las que se encuentran en los huertos urbanos de La Laguna. La intención de esta selección ha sido comparar la calidad del proceso y del producto en un entorno universitario, en un huerto urbano y en un entorno vecinal.

3.1.1. Composteras del Campus ULL

En los campus de la universidad priman los residuos vegetales de las cafeterías: cáscaras de naranja y borras de café. A pesar de que el alumnado y el personal PAS y PDI pueden apuntarse como aportadores, es una práctica poco extendida aún. Las cafeterías universitarias tienen dos puntos de generación de residuos: el bar y la cocina. En el primer punto se separan cáscaras de naranja y borras de café; mientras que en el segundo se produce una mayor cantidad de residuos de distinta índole que rara vez se separan (restos de comida, envases de yogur, servilletas, aceites, embalajes de alimentos preparados o congelados, etc). Debido a la falta de implicación y obligación, las cafeterías son reacias a la aportación. Desde la Cátedra Institucional de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Cabildo de Tenerife-Universidad de La Laguna se han realizado campañas de sensibilización que han tenido mayor éxito en el campus universitario de Guajara (Humanidades y Ciencias Sociales) y de Bellas Artes que en el de Padre Anchieta (Ciencias). Por ello, se ha escogido para este Trabajo Fin de Grado, el punto de compostaje del Aulario Campus Guajara, donde hay 3 módulos.

3.1.2. Composteras de San Cristóbal de La Laguna

San Cristóbal de La Laguna se encuentra en el noreste de Tenerife y es el segundo municipio en importancia de la isla, con un total de 153.111 habitantes y una extensión de 102,05 Km². Entre este municipio y Santa Cruz de Tenerife se encuentra la zona en auge urbano y económico, donde se sitúa Taco.

Taco es una de las localidades con más habitantes en el municipio de San Cristóbal de La Laguna. Gran parte de su población se relaciona con los intensos flujos migratorios del siglo XX, incluyendo el retorno americano, lo cual se traduce en una apreciable diversidad humana y cultural¹³. En términos generales, la población se caracteriza por ser de clase obrera con bajos recursos económicos, alto grado de inestabilidad familiar y sensible a los altos índices de paro. Son muchas las familias que dependen de las ayudas y subsidios.

San Matías es un barrio de Taco que destaca por ser el primero de La Laguna en tener un huerto urbano. En los alrededores de este huerto, la renta media por hogar en 2020 estaba entre los 20.000 y 24.000 €¹⁴.

El Huerto Comunitario de San Matías tiene 3 módulos de compostaje y se caracteriza por tener un menor número de aportadores, ya que solo pueden acceder a las instalaciones, aquellas familias que participen en el huerto urbano. Si se quisiera compostar sin formar parte del huerto, habría que ponerse de acuerdo con algún encargado de este para que abran las puertas del recinto. Las trabas en cuanto al horario y libertad de acceso a la zona de compostaje dificultan la participación de la comunidad en esta actividad.

3.1.3. Composteras de Tegueste

Tegueste es un municipio de 26,4 Km² de superficie, de la comarca nororiental de la isla de Tenerife, en el que residen 11.346 habitantes (Censo, 2021), con una proporción de hombres y de mujeres muy similar. Destacan dos amplios valles en el municipio, el de El Socorro y el de Tegueste, donde se encuentra la Finca de Los Zamorano. Es una localidad eminentemente rural, cuya agricultura se ha caracterizado por ser principalmente de autoconsumo, condicionada por su destacado minifundismo (el 72 % de las propiedades tienen menos de 1 ha)¹⁵.

La cercanía de Tegueste a otros importantes núcleos urbanos como San Cristóbal de La Laguna, lo convierte en un municipio dormitorio. Su población, que se caracteriza por ser de clase obrera, se encuentra en proceso de envejecimiento¹⁵. Además, cabe destacar que algunos barrios de la zona están constituidos por viviendas de tipo chalé con piscina. En los

alrededores de la Finca de Los Zamorano, la renta media por hogar en 2020 estaba entre 31.000 y 49.000 €¹⁴.

En Tegueste el proyecto piloto de compostaje comunitario ha recibido una alta participación. La Finca de Los Zamorano, donde hay 6 módulos de compostaje, se distingue por recibir biorresiduos, tanto vegetales como restos de comida, de un mayor número de familias. Además, las composteras se encuentran en un lugar popular, visible y de fácil acceso en el municipio. De esta forma no solo no hay restricciones en cuanto al horario de acceso a las composteras, sino que se trabaja la normalización del compostaje en la localidad.

3.2. Metodología

Para conocer la metodología de trabajo del proyecto, se ha asistido a 2 sesiones de revisión técnica del compost los días 25 y 28 de octubre de 2022 con la maestra compostadora del Cabildo de Tenerife. Por lo general, estas sesiones se realizan de forma semanal, si la meteorología lo permite. En ellas, se abren las composteras, se mide su temperatura con un termómetro inoxidable para compostaje de 0,5 metros de la marca BERCA (Fig. 3.b.) y se voltea el compost con un aireador de acero inoxidable (Fig. 3.a.). Posteriormente, se comprueba mediante observación que la humedad es adecuada, y en caso negativo se humedece con una manguera, imitando la lluvia. Finalmente, se apunta en una tabla de Excel los datos de temperatura, las observaciones sobre la humedad (si está seco, muy seco o húmedo), el porcentaje de llenado del módulo y las labores realizadas ese día, así como otras observaciones que se consideren importantes.



Figura 3.1. Material utilizado en las labores de mantenimiento de un compost. a. Termómetro y manguera. b. Aireador.

Además de la revisión técnica semanal ya descrita, la gestión de las composteras comunitarias conlleva otras tareas. Primero, mantener la comunicación, a través de un grupo de *WhatsApp*, con los aportadores para informar de incidencias, cambios o novedades, lo cual implica resolver dudas y conflictos. Segundo, planificar con antelación los trasvases entre módulos para que los técnicos de medioambiente de cada ayuntamiento vengan a ayudar en dichas labores. Tercero, tomar muestras de compost para pedir su análisis físico químico y biológico al IPNA-Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Finalmente, si la calidad del compost es aceptable, repartirlo entre los aportadores y los jardineros de cada ayuntamiento. Es preciso aclarar que no se presencié el proceso de toma de muestras, y los códigos de las muestras según decisión de Cabildo, se basan en una abreviatura del punto

de compostaje comunitario y tres fechas: fecha de toma de muestra, fecha de comienzo de la maduración y fecha a los 5 meses (si bien se ha observado, que esto último no siempre se cumple).

La metodología seguida para determinar el momento adecuado de un trasvase depende de la etapa en que se encuentre el compost. El módulo de aportación se trasvasa al de higienización cuando se llena. El de higienización, cuando la temperatura se ha elevado entre los 45°C y los 65°C y ha empezado a descender. Por último, el compost permanece en el módulo de maduración entre 3 y 5 meses. En caso de retraso en el trasvase del módulo de aportación, siempre se deja un módulo libre preparado para recibir nuevos aportes. Es importante recalcar que esta metodología no es sistemática, ni rigurosa, lo cual indica que la gestión del compost no parece adecuada.

Para realizar el tratamiento de datos y la generación de tablas y gráficas se ha utilizado el programa Excel de Microsoft Office. En primer lugar, se han comparado los resultados esperados por el proyecto con los obtenidos tras la finalización de este. Los datos se han extraído de la página web del proyecto y se ha añadido el cálculo del porcentaje de éxito obtenido para la participación, la recogida de materia orgánica (biorresiduos) y la generación de compost. En segundo lugar, se ha ordenado la matriz de datos elaborada por la maestra compostadora de los tres puntos elegidos y se ha eliminado el parámetro "Humedad" de la matriz por su carácter subjetivo. Tras esto, se han identificado las fechas de trasvase de un módulo a otro, para reflejarlo en las gráficas como experiencias diferentes. A continuación, se ha procedido a la generación de gráficas de dispersión con líneas rectas y marcadores representando el parámetro "Temperatura" en el eje Y; mientras que en el eje X se representa la "fecha de análisis". Se ha realizado una gráfica para cada módulo (Aportación, Higienización y Maduración) de las tres zonas de compostaje. En el caso de la Finca Los Zamorano hay dos islas de compostaje, es decir, dos módulos para cada etapa. Además, se ha marcado como una experiencia distinta cada vez que se trasvasaba el contenido de un módulo al siguiente. De esta manera, se puede seguir la evolución de las etapas de una misma tanda o experiencia de compost y comprobar si siguen la curva de temperatura típica.

Por último, se ha verificado que las muestras de compost analizadas por el IPNA-CSIC cumplen los requisitos exigidos por el RD 506/2013 en cuestión de materia orgánica, parámetros microbiológicos y metales pesados; así como otros parámetros mencionados en la bibliografía (pH, conductividad eléctrica, relación C/N). Se han comparado los valores de una muestra de cada zona de compostaje comunitario, mediante gráficos de barras. Es preciso aclarar que los gráficos se han construido con análisis elegidos al azar de entre todos los que se han realizado para cada punto, pero próximos temporalmente, al final del proyecto. Por ello, se escogieron las muestras de mayo, junio y agosto de 2022 para el Huerto de San Matías, el Aulario Guajara y Los Zamorano, respectivamente. Cabe añadir que en Los Zamorano se produjeron más tandas de compost, por ende, hay más análisis; mientras que del Huerto Comunitario San Matías se realizó un único análisis.

Debido a la alta salinidad que presentaban las muestras de compost, se tomaron muestras del agua de abasto utilizada para humedecer el compost en todos los puntos. Para la toma de la muestra, se abría la llave del agua y se dejaba correr el agua un minuto, se llenaba un bote de plástico translúcido de 100 mL hasta que rebosaba y se cerraba. Entonces se etiquetaba el bote y se transportaba en una bolsa térmica para mantener su temperatura hasta almacenarlo en una nevera. Las muestras de agua se entregaron a los laboratorios del IPNA-CSIC en un plazo de un mes desde su toma. De esta forma, se evaluó si la conductividad eléctrica del agua era la causa de la alta salinidad del compost.

La metodología utilizada por el IPNA-CSIC para analizar las muestras de compost y de agua se resume en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Metodologías seguidas para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua y compost. (A partir de datos suministrados por el IPNA-CSIC, 2023).

Tipo de muestra	Parámetro	Metodología
Agua	Conductividad eléctrica	Conductimetría
	pH	Potenciometría
Compost	<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	Método ISO 7251 (RD 506/2013)
	<i>Salmonella</i> spp. (Presencia/25g)	Método ISO 6579 (RD 506/2013)
	pH	Potenciometría
	Conductividad eléctrica	Conductimetría
	Relación C:N	Cálculo
	Humedad	-
	Materia orgánica	Calcinación
	Carbono total	Cálculo
	Nitrógeno total	Método oficial Kjeldahl
	P, K, Ca, Mg, Na, Fe, B, Cu, Mn, Zn, Pb, Co, Ni, Mo, Hg, Cd, Cr, Pd, Se y As	Espectrometría ICP

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos tanto analíticos, como de muestreo del compost fueron suministrados por el Área de Desarrollo Sostenible y Lucha contra el Cambio Climático del Cabildo Insular de Tenerife. Los mismos han sido cedidos para su tratamiento gráfico, numérico y diagnóstico en el marco del presente Trabajo Fin de Grado.

En los siguientes apartados se presentan y discuten los resultados del proyecto piloto, la evolución de la temperatura de los compost y los análisis sobre los parámetros fisicoquímicos y biológicos de calidad de un compost. A la vista de dichos resultados, se analizan las incidencias detectadas y se plantean las posibles mejoras, de cara a un nuevo proyecto de compostaje comunitario en la isla de Tenerife.

4.1. Resultados del proyecto piloto “Comunidades Circulares”

A continuación, en la Tabla 4.1 se recogen los resultados obtenidos y los resultados esperados del proyecto piloto “Comunidades Circulares” durante el ciclo 2021/2022. En cuanto al porcentaje de éxito, se observa que no se alcanzó la mitad de la participación deseada. Aunque solo se consiguió recoger un 15% de la materia orgánica esperada, se evitó la llegada a vertederos de más de 31 toneladas de biorresiduos. Por otra parte, se generó un 8% del compost esperado; esto quiere decir que el rendimiento del compostaje también fue menor, pues con las cantidades de residuos orgánicos tratadas se confiaba en poder generar más de 9.000 Kg de compost, en lugar de 4.800 Kg. Teniendo en cuenta estos resultados, los objetivos del proyecto piloto fueron muy ambiciosos.

Tabla 4.1. Resultados obtenidos y esperados del proyecto piloto “Comunidades Circulares” en el curso 2021/2022, así como el porcentaje de éxito (modificado del Cabildo de Tenerife, 2023).

ZONA DE COMPOSTAJE	TEGUESTE	TOTALES TEGUESTE	LA LAGUNA	TOTALES LA LAGUNA	ULL	TOTALES ULL	TOTALES EL ROSARIO	TOTALES TACORONTE	Totales de las Zonas del proyecto	Resultados esperados	Porcentaje de Éxito
	CASA LOS ZAMORANO		HUERTO COMUNITARIO SAN MATÍAS		AULARIO. CAMPUS GUAJARA						
FAMILIAS INSCRITAS	48	59	12	79	10	93	18	66	315		
TOTAL DE PERSONAS	138	166	36	209	30	279	56	190	932	2085	45%
TOTAL KG COMPOST GENERADO APROX	1194,2	1566,7	60	361	389,6	682,6	661,5	1560	4.831,80	61.300	8%
TOTAL KG MATERIA ORGÁNICA RECOGIDA	6864,1	8816,9	3539,2	6192,6	3769,4	8681,1	2991,8	4998,9	31.681,20	213.000	15%

En la Tabla 4.2 se recoge el cálculo del porcentaje que supone el compost generado y la materia orgánica recogida en cada punto de compostaje evaluado en este trabajo con respecto a su zona, así como de cada zona con respecto al total del proyecto. Los puntos evaluados (Casa Los Zamorano, Huerto Comunitario San Matías y Aulario Campus Guajara) fueron contribuidores importantes que aportaron más del 40% de la materia orgánica en su zona. Además, en el caso de Los Zamorano y el Campus Guajara, la fracción de compost generado coincide aproximadamente con la de los biorresiduos recogidos. Sin embargo, destaca el caso del Huerto Comunitario San Matías que, a pesar de recoger más de la mitad de los biorresiduos de La Laguna, solo produjo el 17% del compost en dicha zona. Esto indica un mal rendimiento del proceso de compostaje que impidió la transformación de la materia orgánica en compost. Esta observación se repite en las zonas de La Laguna y de la Universidad de La Laguna con respecto al total de las zonas del proyecto. En base a estos datos de las zonas estudiadas, el mejor rendimiento de compostaje se ha dado en la Finca Los Zamorano y en Tegueste.

Tabla 4.2. Fracción de compost generado y materia orgánica recogida de cada punto con respecto a las zonas de Tegueste, La Laguna y la Universidad de La Laguna (ULL) y de cada zona con respecto al total del proyecto.

ZONA DE COMPOSTAJE	TEGUESTE	LA LAGUNA	ULL	Totales de las Zonas del proyecto		
	CASA LOS ZAMORANO	HUERTO COMUNITARIO SAN MATÍAS	AULARIO. CAMPUS GUAJARA	TEGUESTE	LA LAGUNA	ULL
FRACCIÓN DE COMPOST GENERADO CON RESPECTO A SU ZONA	76%	17%	57%	32%	7%	14%
FRACCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA RECOGIDA CON RESPECTO A SU ZONA	78%	57%	43%	28%	20%	27%

4.2. Calidad y características de los compost

Para controlar la calidad del proceso de compostaje, el parámetro más importante es la temperatura⁷. Como ya se ha descrito anteriormente, en la fase de aportación la temperatura debe estar por debajo de 45°C; en higienización debe estar entre 45°C y 65°C; y en maduración, debe enfriarse hasta recuperar la temperatura ambiente.

En la Figura 4.1 se observa la evolución de la temperatura en los tres módulos de compostaje del Aulario del campus universitario Guajara. Destaca que la serie del módulo de higienización (Fig. 4.1.b) comienza antes que el de aportación. Esto se explica porque en un principio se utilizaron composteras de 400L (no modulares) y se aportaba donde había hueco, sin importar el orden de las composteras. Además, el 16/03/2022 se vaciaron los tres módulos para colocar pavi-césped debajo y se mezclaron los contenidos sin respetar la etapa del proceso en la que

estaba cada uno de los módulos. Además, se han señalado 3 experiencias denominadas como F en las gráficas, que corresponden a tandas de compost que se aportaron directamente en los módulos de higienización (Fig. 4.1.b) y maduración (Fig. 4.1.c).

El compost de la Experiencia A llega a la temperatura mínima de 45°C, pero no se mantiene varios días sobre esa cifra, ni alcanza los 55°C, por lo que la higienización ha sido incompleta. Por el contrario, el compost de la Experiencia C sobrepasa la temperatura máxima de 65°C durante la higienización. Es más, las cuatro experiencias alcanzan temperaturas propias de la fase termófila en el módulo de aportación (Fig. 4.1.a); mientras que en el módulo de higienización (Fig. 4.1.b) ya aparecen datos por debajo del valor mínimo de 45°C. Esto indica que los trasvases se han hecho tarde. Hay que añadir que solo las Experiencias A y B pasaron por los tres módulos. Finalmente, el compost de la Experiencia B es el que mejor sigue la evolución típica de las fases de compostaje.

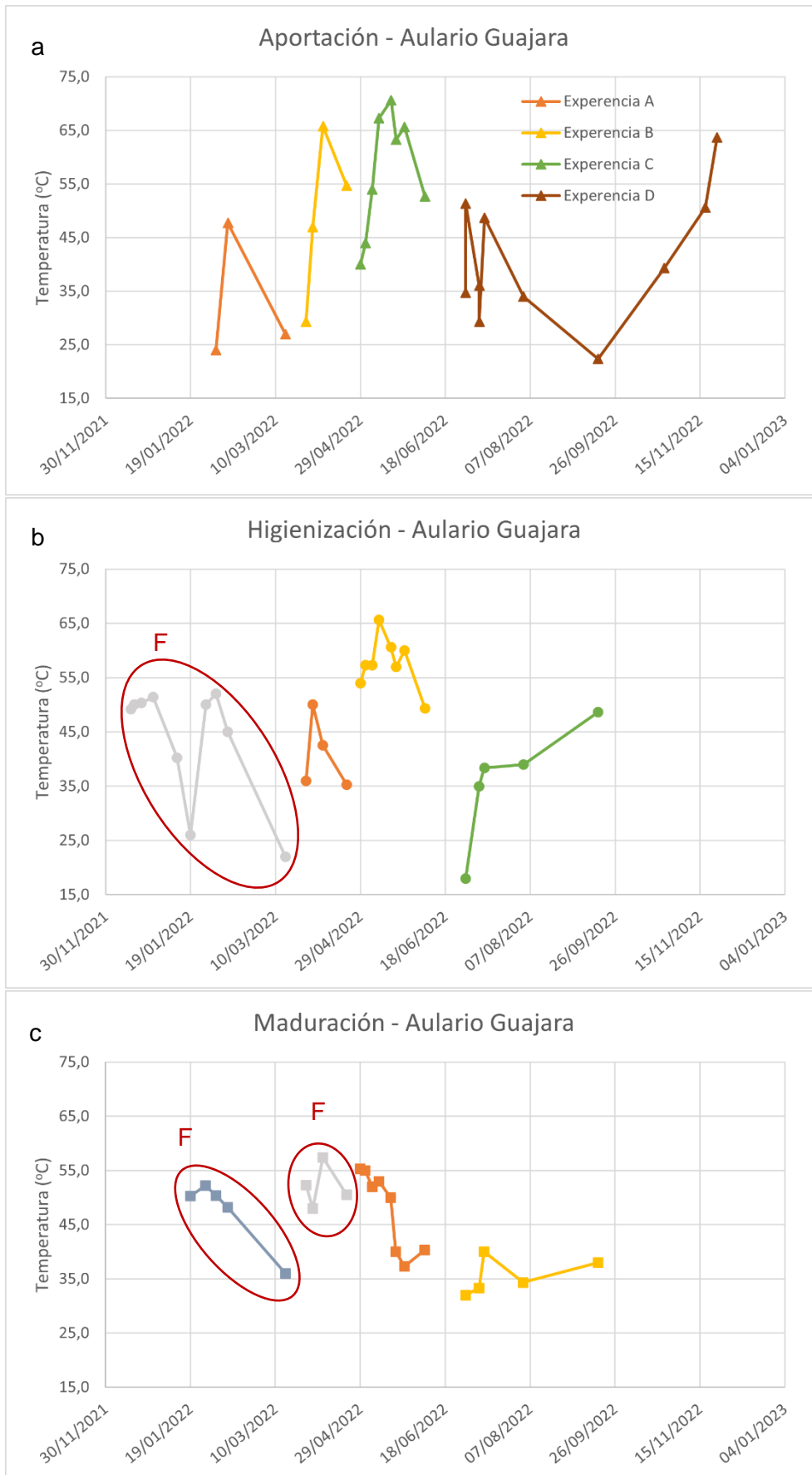


Figura 4.1. Gráficas de evolución de la temperatura en las distintas etapas de compostaje del campus universitario Guajara. (a) Aportación, (b) Higienización, (c) Maduración, (F) ensayo fallido.

En la Figura 4.2 se observa la evolución de la temperatura de la primera isla de tres módulos de compostaje de la Finca Los Zamorano en Tegueste. Por un lado, se han señalado 5 experiencias identificadas como F que corresponden a tandas de compost que se aportaron directamente en los módulos de higienización (Fig. 4.2.b) y maduración (Fig. 4.2.c).

En cuanto a las tandas de compost que sí empezaron en el módulo de aportación, la Experiencia A nunca alcanza la temperatura mínima de higienización y se le pierde el rastro antes de llegar al módulo de maduración. La Experiencia B supera los 45°C y luego se enfría hasta temperatura ambiente. En otras palabras, sigue la evolución típica y alcanza la fase de maduración en el módulo de aportación (Fig. 4.2.a). Cabe destacar la Experiencia D, que sigue una evolución típica de las fases de un compost, atravesando los tres módulos; y, además, mantiene la temperatura de higienización durante dos meses. A la Experiencia C se le pierde el rastro en el módulo de aportación, probablemente se ha añadido a una de las experiencias F en el módulo de maduración. Finalmente, el compost de la Experiencia E sobrepasa la temperatura máxima de 65°C (Fig. 4.2.a).

En la Figura 4.3 se observa la evolución de la temperatura de la segunda isla de tres módulos de compostaje de la Finca Los Zamorano en Tegueste. Hay que mencionar que en septiembre y octubre de 2021 se añadieron tandas de compost en maduración en el módulo de higienización (Fig. 4.3.b), lo cual explica las bajas temperaturas experimentadas en ese período. Además, se han señalado 2 experiencias identificadas como F que corresponden a tandas de compost que se aportaron directamente en el módulo de maduración (Fig. 4.3.c). La única experiencia que atraviesa los tres módulos es la A, pero no sigue la evolución típica de temperatura de un proceso de compostaje.

En primer lugar, sorprende que las Experiencias A y C comiencen con temperaturas elevadas propias de la fase termófila y comiencen su enfriamiento todavía en el módulo de aportación (Fig. 4.3.a). Esto puede deberse a que, al menos en parte, provengan de alguno de los módulos de la primera isla de compostaje de Los Zamorano. En cuanto a la Experiencia B, esta alcanza las fases termófila y mesófila de enfriamiento en el módulo de aportación (Fig. 4.3.a). Sin embargo, tras su trasvase al siguiente módulo (Fig. 4.3.b) vuelve a la fase termófila, esta vez consiguiendo los 55°C necesarios para una higienización adecuada y después regresa a temperatura ambiente. Por último, la Experiencia D llega a la fase termófila en el módulo de aportación (Fig. 4.3.a) y la fase mesófila de enfriamiento en el de higienización (Fig. 4.3.b). Sin embargo, sobrepasa los 65°C varios días.

En la Figura 4.4 se observa la evolución de la temperatura de los tres módulos de compostaje del Huerto comunitario de San Matías en La Laguna. Además, se han señalado una experiencia identificada como F que corresponde a una tanda de compost que se aportó directamente en el módulo de higienización (Fig. 4.4.b). La Experiencia B es la única que atraviesa los tres módulos, completando las etapas del compostaje.

Compost de la Experiencia A completa adecuadamente la fase termófila e inicio la mesófila de enfriamiento en el módulo de higienización (Fig. 4.4.b). A partir de ahí se pierde su registro, a pesar de que todavía le falta la fase de maduración. Los compost de las Experiencias B y C completan la fase termófila (65°C) en el módulo de aportación (Fig. 4.4.a), donde además presentan variaciones muy amplias de temperatura. En el módulo de higienización (Fig. 4.4.b) ya se encuentran en la fase mesófila de enfriamiento. El compost de la Experiencia B completa su maduración en el tercer módulo (Fig. 4.4.c).

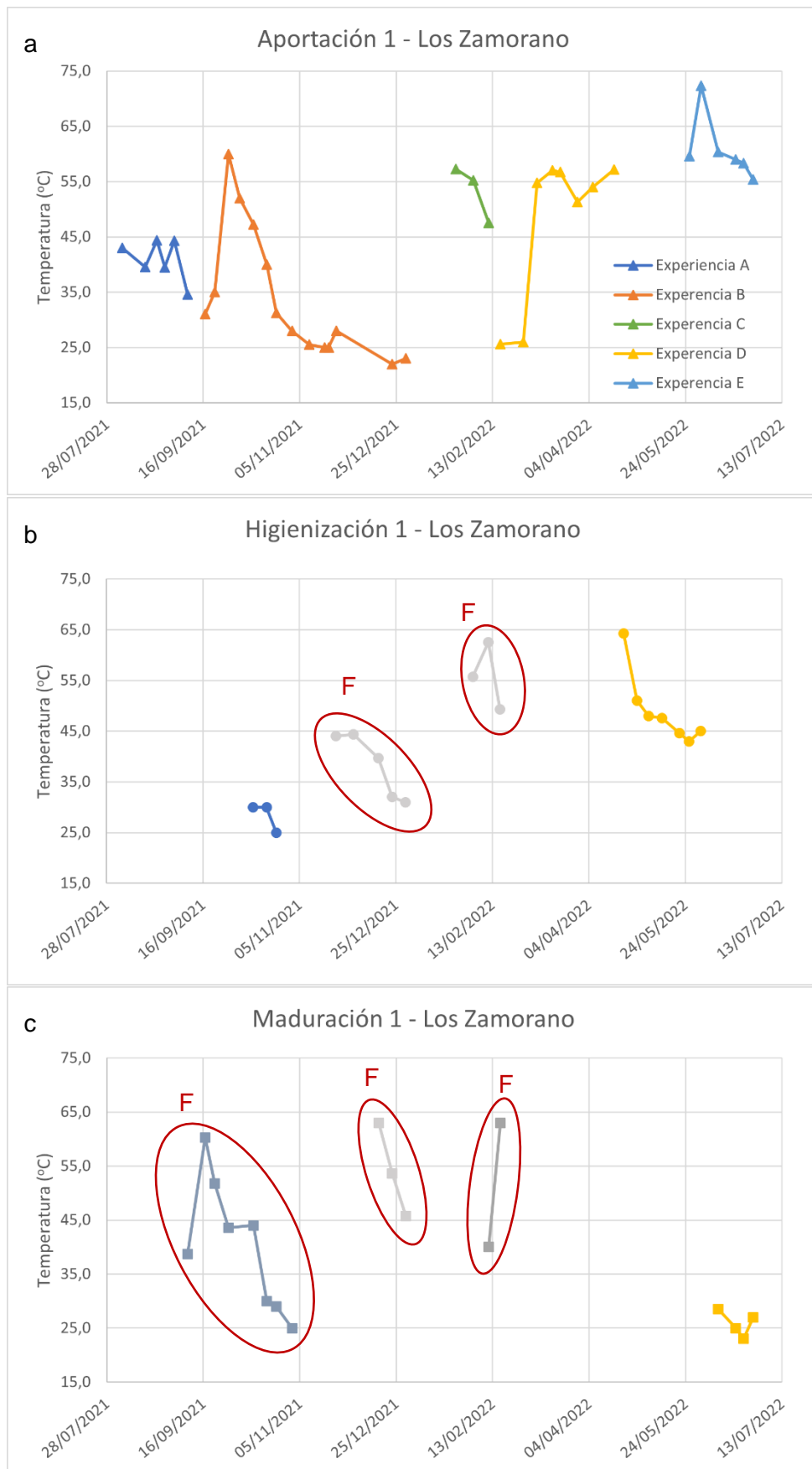


Figura 4.2. Gráficas de evolución de la temperatura en las distintas etapas del compostaje de la primera isla de módulos de la Finca Los Zamorano, Tegueste. (a) Aportación, (b) Higienización, (c) Maduración, (F) ensayo fallido.

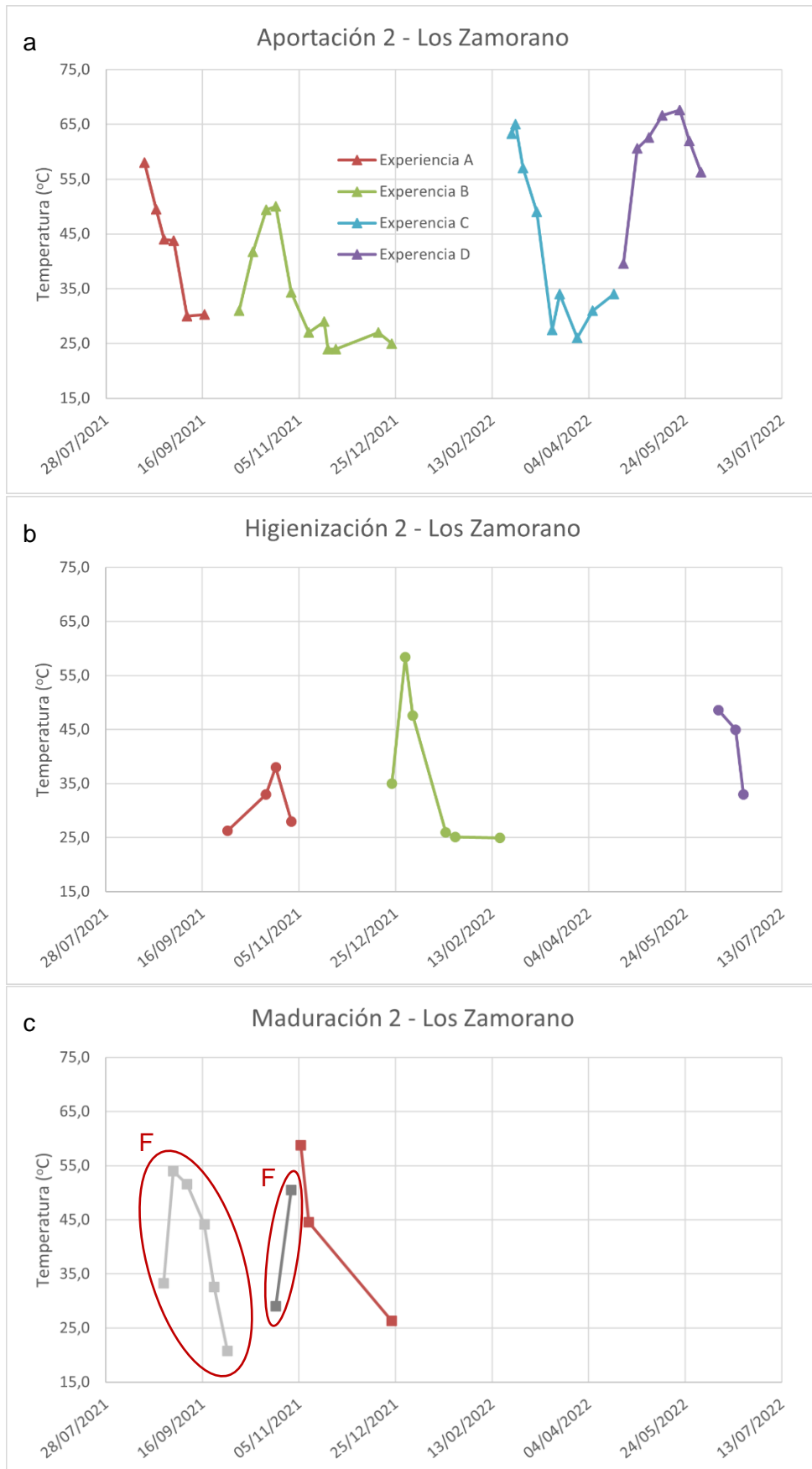


Figura 4.3. Gráficas de evolución de la temperatura en las distintas etapas del compostaje de la segunda isla de módulos de la Finca Los Zamorano, Tegueste. (a) Aportación, (b) Higienización, (c) Maduración, (F) ensayo fallido.

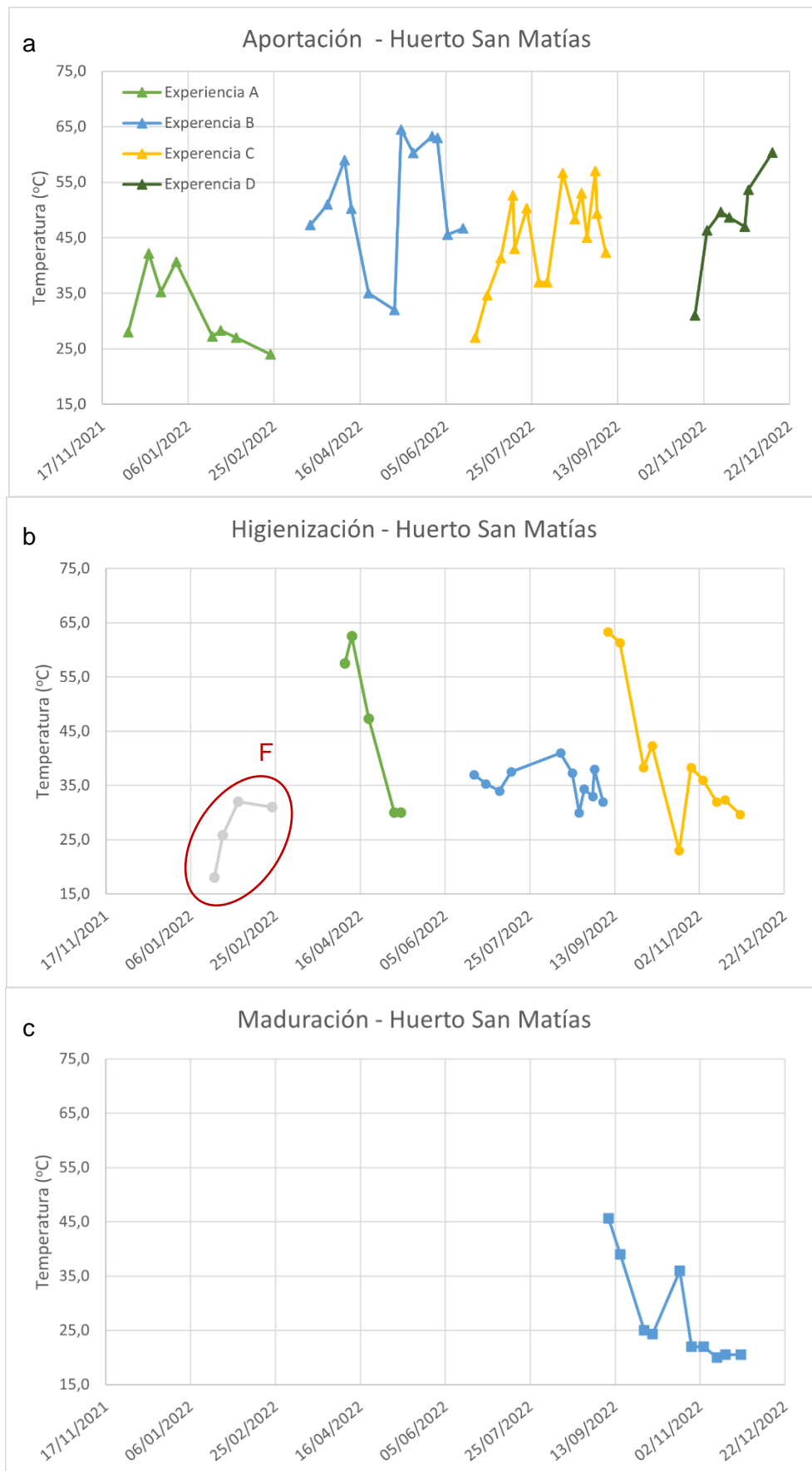


Figura 4.4. Gráficas de evolución de la temperatura en las distintas etapas del compost del Huerto de San Matías, La Laguna. (a) Aportación, (b) Higienización, (c) Maduración, (F) ensayo fallido.

A continuación, se discuten los resultados de los análisis fisicoquímicos y biológicos de las muestras de compost y de agua, realizados por el IPNA-CSIC. Los valores de pH, CE, Relación C/N, Humedad, Materia Orgánica, Carbono Total y Nitrógeno Total se encuentran resumidos en las Tablas 2, 3 y 4 del ANEXO I para el Huerto San Matías, Los Zamorano y el Aulario Guajara, respectivamente. Además, se comentan las gráficas a modo de ejemplo.

En la Figura 4.5 se representan los valores de pH de tres muestras, de las zonas de compostaje comunitario. Se observan valores adecuados de pH en los tres casos, pues están entre 7 y 8. En efecto, al revisar los análisis de todas las muestras, las medias de pH tanto en el Aulario Guajara como en el Huerto de San Matías están en el rango de 7 a 8. Sin embargo, en Los Zamorano aparecen varios valores de 9,0 puntos y la media se encuentra en 8,1.

En la Figura 4.5 se representan también los valores de conductividad eléctrica (CE) de las tres muestras. Se observan valores entre 6,0 y 8,5 mS/cm. En el resto de los análisis, la CE es por lo general, elevada: 7,2 mS/cm de media en el Aulario Guajara y 6,0 en el Huerto San Matías. En Los Zamorano es incluso más alta, alrededor de 9,3 mS/cm, alcanzando la cifra más elevada en 12,6 mS/cm en la muestra 25/08/22-TE-LZ-30/12/21-30/05/22.

Si nos guiamos por la Norma Chilena de Compost, todas las muestras analizadas, a excepción de la muestra 25/08/22-TE-LZ-30/12/21-30/05/22, corresponderían a un compost de calidad intermedia (clase B), pues su conductividad está entre 5 y 12 mS/cm. Esto quiere decir que su uso está sujeto a una serie de restricciones: no se recomienda como sustrato para la elaboración de semilleros, se debe aportar en dosis bajas en jardines o huertos y en plantas adultas.

Los resultados del análisis fisicoquímico del agua usada para humedecer el compost en cada punto se recogen en la Tabla 1 del ANEXO I. Se trata de muestras típicas de agua de abasto, por lo que se concluye que no influyen en la alta conductividad de las muestras de compost. Además, la cantidad de agua añadida al compost es pequeña, por lo que es más probable que los valores altos de salinidad se deban a la utilización de RSU en el compostaje^{6,11}. Otra posible causa de este fenómeno es el tipo de estructurante utilizado⁶. En Los Zamorano, donde la CE es mayor, se utilizaron restos de caña (*Arundo donax*), que es una planta hiperacumuladora de sales¹⁶.

En la Figura 4.5 se muestran los valores de la relación C/N de las tres muestras. Tanto las muestras de la gráfica como las demás recogidas en las Tablas 2, 3 y 4 del ANEXO I están por debajo de 20, que es el límite máximo establecido por el RD 506/2013. Sin embargo, son inadecuados según Álvarez, J. M. (2014), pues todas las muestras menos 14/10/22-ULL-AU-8/7/22-8/10/22 contienen valores inferiores al rango ideal de 10 a 15⁷. En este sentido, Los Zamorano tiene la relación C/N media más baja (6,5), seguido del Aulario Guajara (7,8) y, por último, el Huerto de San Matías (8,7).

Una relación C/N baja indica un bajo porcentaje de Carbono, que también puede tener su origen en el estructurante utilizado. La caña (*Arundo donax*) no es una planta muy lignificada, por lo que el carbono que aporta se degrada durante el compostaje en forma de CO₂. Esto supone que los compost tienen un alto contenido en Nitrógeno, por lo que deben usarse como abono y no como sustrato.

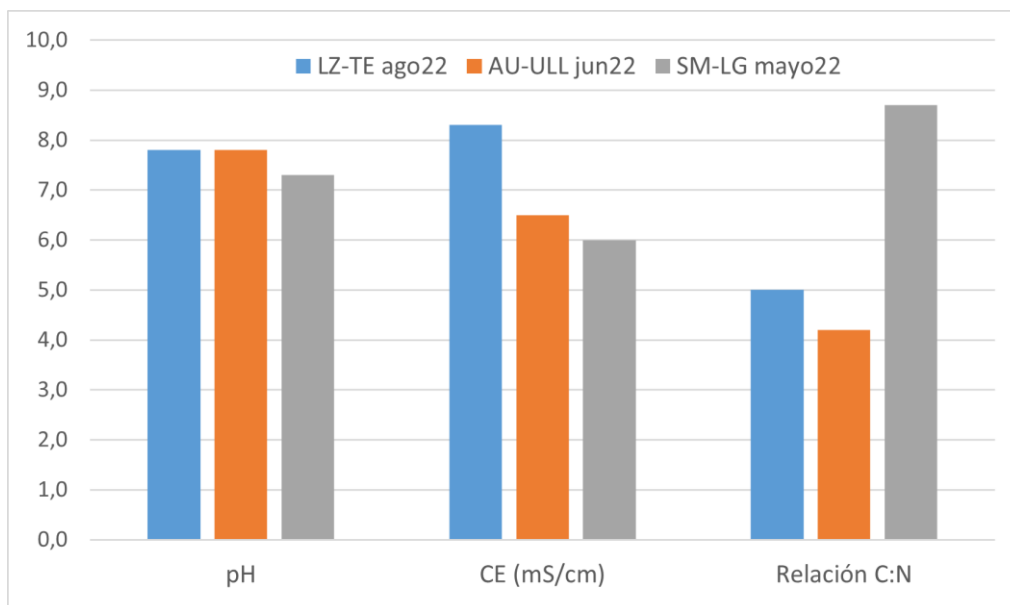


Figura 4.5. Comparación de los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE) y relación carbono nitrógeno (C:N) de los compost elaborados en la Finca Los Zamorano, Tegueste (LZ-TE ago22); en el Aulario Guajara (AU-ULL jun22) y en el Huerto comunitario San Matías (SM-LG mayo22).

En la Figura 4.6 se presentan los valores de porcentaje de humedad de los compost de las tres muestras. Se trata de valores similares, entre 30 y 35%. Al observar el resto de las muestras (Tabla 2, 3 y 4. ANEXO I), los valores de humedad son adecuados, pues están por debajo del límite máximo de 40% establecido por el RD 506/2013. Solo en la muestra 08/03/22-TE-LZ-27/082021-27/01/22 de Los Zamorano se ha llegado a sobrepasar (41%).

Los valores de porcentaje de materia orgánica en las muestras representadas en la Figura 4.6 son inadecuados según el RD 506/2013, pues están por debajo de 35%. Sin embargo, en Los Zamorano (Tabla 3. ANEXO I), el contenido medio de materia orgánica en las muestras es 35,6% y aproximadamente la mitad de las muestras alcanzan el 35%.

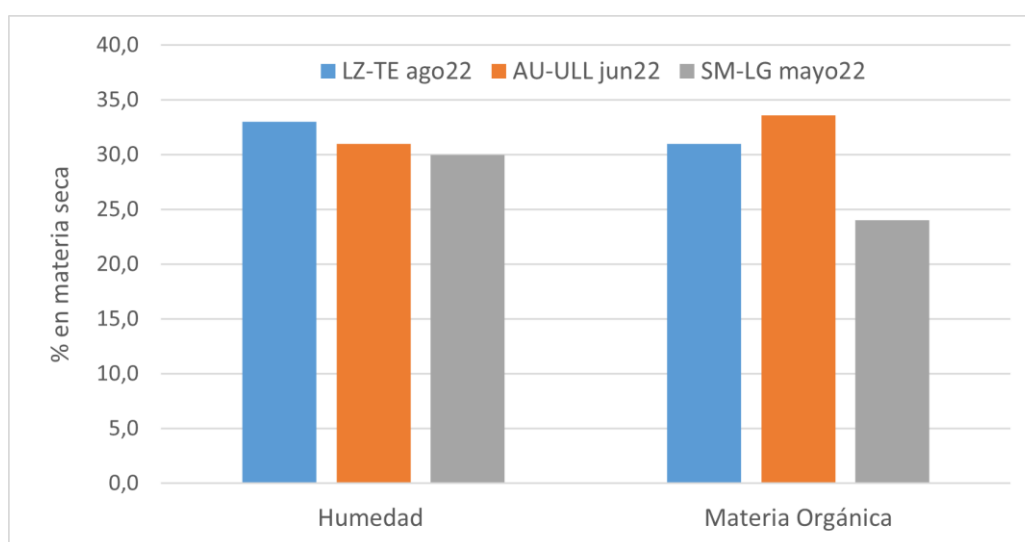


Figura 4.6. Comparación de los parámetros humedad y materia orgánica de los compost elaborados en la Finca Los Zamorano, Tegueste (LZ-TE ago22); en el Aulario universitario de Guajara (AU-ULL jun22) y en el Huerto comunitario de San Matías (SM- LG mayo22). (A partir de datos suministrados por IPNA-CSIC, 2023).

A continuación, se observa la concentración de los metales pesados Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo (Fig. 4.7), Cobre y Zinc (Fig. 4.8) en mg/Kg de muestra de compost. El Mercurio no se ha representado porque no se detectó en ninguna muestra de compost. En cambio, aunque no aparecen valores de Cadmio en la gráfica, sí se detectó en tres muestras de Los Zamorano.

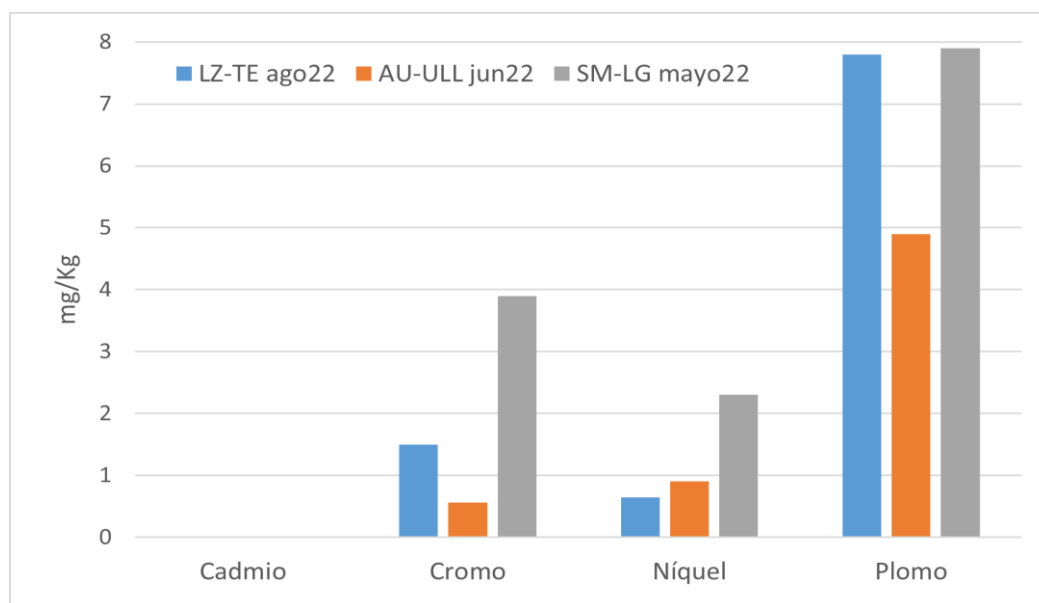


Figura 4.7. Comparación de las concentraciones en mg/Kg de metales pesados en los compost elaborados en la Finca Los Zamorano, Teguste (LZ-TE ago22); en el Aulario universitario de Guajara (AU-ULL jun22) y en el Huerto comunitario de San Matías (SM- LG mayo22). (A partir de datos suministrados por IPNA-CSIC, 2023).

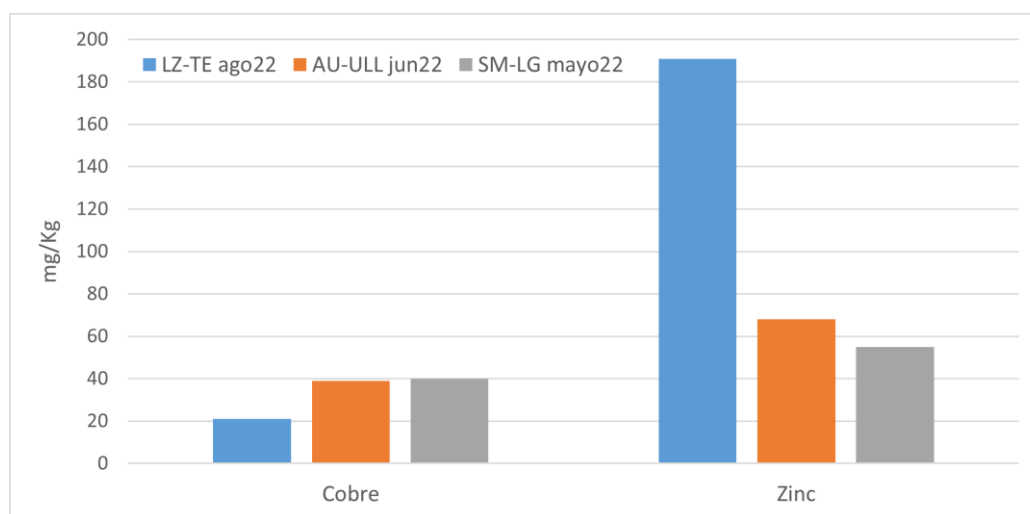


Figura 4.8. Comparación de las concentraciones en mg/Kg de metales pesados en los compost elaborados en la Finca Los Zamorano, Teguste (LZ-TE ago22); en el Aulario universitario de Guajara (AU-ULL jun22) y en el Huerto comunitario de San Matías (SM- LG mayo22) (A partir de datos suministrados por IPNA-CSIC, 2023).

Las muestras representadas en las Figuras 4.7 y 4.8 corresponden a compost de Clase A según el RD 506/2013 en cuanto a los niveles de metales pesados que contienen (Tabla 4.3). En general, los valores son adecuados y la mayoría de las muestras analizadas por el IPNA-CSIC (Tabla 6 del ANEXO) pertenecen a compost de la Clase A. Sin embargo, la muestra 14/10/22- ULL-AU-11/7/22-11/10/22 del Aulario Guajara y las muestras 14/11/22-TE-LZ-9/7/22-9/10/22, 5/09/22-TE-LZ-5/05/22-5/09/22 y 25/08/22-TE-LZ-30/12/21-30/05/22 de Los

Zamorano superan los 200 mg de Zinc por mg de muestra, por lo que corresponden a compost de Clase B.

Tabla 4.3. Límites de concentración de metales pesados en abonos orgánicos de origen vegetal o animal (modificado de RD 506/2013, 2023).

Metal pesado	Límites de concentración		
	Sólidos: mg/Kg de materia seca		
	Líquidos: mg/Kg		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo total	70	250	300
Cromo (VI)	No detectable	No detectable	No detectable

Los análisis microbiológicos de las muestras se resumen en la Tabla 4.4. En la mayoría de las muestras hay ausencia de *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., siendo adecuadas según el criterio del RD 506/2013. No obstante, en Los Zamorano se han detectado algunas muestras de compost (señaladas en rojo) que superan los valores permitidos de *Escherichia coli* (<1000 NMP/g). Esta contaminación se puede deber a que, por falta de composteras en esta zona de compostaje comunitario, el compost se maduraba inicialmente en montones sobre el suelo, cubiertos con plástico.

Tabla 4.4. Resultados de los parámetros microbiológicos número más probable (NMP) de *Escherichia coli* por gramo de muestra y presencia del género *Salmonella* en 25 gramos de muestra analizados para los compost de Los Zamorano, el Aulario Guajara y el Huerto de San Matías (modificado de IPNA-CSIC, 2023).

Zona	Muestra	<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	<i>Salmonella</i> spp. (Presencia/25g)
Los Zamorano. Tegueste	8-3-22-TE-LZ (TF2360422-3)	Ausencia	Ausencia
	25/8/22-TE-LZ-15/10/21-15/2/22 (TF031022-3)	Ausencia	Ausencia
	25/8/22-TE-LZ-3/12/21-3/6/22 (TF031022-4)	2,30·10 ³	Ausencia
	25/8/22-TE-LZ-16/12/21-16/6/22 (TF031022-5)	9,76·10 ⁴	Ausencia
	25/8/22-TE-LZ-30/12/21-30/5/22 (TF031022-6)	Ausencia	Ausencia
	25/8/22-TE-LZ-20/1/22-20/6/22 (TF031022-7)	Ausencia	Ausencia
	25/8/22-TE-LZ-25/1/22-25/6/22 (TF031022-8)	Ausencia	Ausencia
	25/8/22-TE-LZ-11/2/22-11/7/22 (TF031022-9)	Ausencia	Ausencia
	25/8/22-TE-LZ-17/2/22-17/6/22 (TF031022-10)	1,56·10 ⁵	Ausencia
	5/9/22-TE-LZ-5/2/22-5/9/22 (TF031022-11)	Ausencia	Ausencia
	14/11/22-ETE-LZ-9/7/22-9/10/22 (TF161122-12)	Ausencia	Ausencia
Aulario Guajara. Universidad de La Laguna	14/10/22-ULL-AU-8/7/22-8/10/22 (TF161122-1)	Ausencia	Ausencia
	14/10/22-ULL-AU-11/7/22-11/10/22 (TF161122-2)	Ausencia	Ausencia
	14/6/22-ULL-AU-21/12/21- 12/6/22 varios lotes (TF230622-9)	Ausencia	Ausencia
Huerto San Matías. La Laguna	10/5/22-LL-SM-7/4/22-7/8/22 (TF230622-1)	Ausencia	Ausencia

4.3. Incidencias detectadas en el proyecto “Comunidades Circulares”

Durante la realización de este trabajo se han detectado en el proyecto piloto, entre otras, algunas de las incidencias recogidas en la Guía de compostaje comunitario⁶:

- **Dimensionado inadecuado:** en un inicio, se usaban composteras de 400L que, en Los Zamorano eran insuficientes para la cantidad de biorresiduos que se aportaban. Por ello se decidió madurar el compost fuera de los contenedores, lo cual provocó que se contaminaran algunas tandas de compost con *Escherichia coli*. Posteriormente, se cambiaron por las composteras modulares de Elkarkide en todas las zonas implicadas

en el proyecto piloto. Se trata de unos módulos con gran capacidad (1 m³) que tardan mucho en llenarse, por lo que no se consiguen las condiciones de proceso necesarias, haciendo que el rendimiento del compostaje sea inferior al deseado.

- **Presencia de dípteros:** en el Huerto de San Matías una de las composteras contenía restos de estructurante (poda) sin triturar, lo que impedía las labores de aireado. En consecuencia, los residuos estaban pudriéndose o fermentándose y aparecieron moscas verdes y otro tipo de dípteros (Fig. 4.9.a y b).
- **Presencia de impropios:** en varios puntos de compostaje se encontraban elásticos, cintillas de alambre y bolsas de plástico asociadas al embalaje de las verduras. También aparecieron otros residuos domésticos pequeños que podrían pasar desapercibidos y bolsas de plástico en la que algunos aportadores transportan los biorresiduos (Fig. 4.9.c).
- **Presencia de bolsas compostables:** en varios puntos de compostaje aparecían con frecuencia aportaciones en bolsas de plástico compostable sin abrir. Esto es un problema, pues al impedir que los biorresiduos se mezclen con el resto se produce su putrefacción, derivando en otras incidencias como malos olores, presencia de dípteros, lixiviados, etc.
- **Deficiencia de materiales e instalaciones necesarias:** al principio del proyecto piloto, hubo retrasos en la instalación de puntos de agua y alcachofas con efecto lluvia para humedecer el compost. Además, en muchas ocasiones se acababa el estructurante, lo cual provocaba el retraso del comienzo de una tanda de compost o el uso de estructurantes inadecuados (frescos o poco lignificados) como paja, caña, hierba fresca o tierra.
- **No respetar el orden de los módulos de compostaje:** a veces se aportaba donde había hueco sin respetar el orden de los módulos, o se empezaba una experiencia en un módulo que no era de aportación. Estas prácticas eran más frecuentes mientras se usaban las composteras de 400L. Otras veces se dejaba que una experiencia de compost completara todas sus etapas en un mismo módulo.
- **Metodología de trasvase no rigurosa:** no se siguió un protocolo estricto para el trasvase del compost de un módulo a otro. Al no existir una medición continua de la temperatura, no se podía seguir la evolución del compost en tiempo real. Por ello, no había un indicador claro de la necesidad de trasvase o de cuando había finalizado cada fase del proceso de compostaje.
- **Falta de comunicación entre instituciones:** en un proyecto en el que se involucran varias instituciones es fundamental la comunicación entre las partes interesadas, en especial entre los organizadores. En varias ocasiones durante el transcurso del proyecto piloto se desplazó compost, se mezclaron tandas que se encontraban en distintas fases del proceso y desapareció compost. Como ejemplo, en uno de los puntos de compostaje de la Universidad de La Laguna (Facultad de Económicas) se desmantelaron las composteras sin previo aviso y hasta la actualidad se desconoce el paradero del compost que se estaba formando en ellas (Fig. 4.9.d).
- **Falta de maestros compostadores:** en un proyecto que abarca una extensión tan amplia de territorio (cuatro municipios) e instituciones tan diversas (ayuntamientos, centros educativos, huertos comunitarios y una universidad con sus distintas facultades) es necesario más de un maestro compostador. Se requiere de más de una persona cualificada para visitar los puntos de compostaje con la frecuencia adecuada, realizar los trasvases de módulos, gestionar las actividades de sensibilización, formar a los aportadores y mantener la comunicación con la ciudadanía, las cafeterías universitarias, los centros escolares, las facultades, los ayuntamientos y el Cabildo de Tenerife.



Figura 4.9. Incidencias detectadas en el proyecto "Comunidades Circulares". a. Moscas verdes sobre un papayero en el Huerto comunitario de San Matías. b. Dípteros en los módulos del Huerto comunitario de San Matías. c. Presencia de bolsas de plástico en un módulo de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de La Laguna. d. Desmantelamiento del punto de compostaje de la Facultad de Económicas de la Universidad de La Laguna.

En cuanto al tratamiento de datos, se recoge a continuación, una serie de incidencias que han ralentizado o dificultado el tratamiento de la información y ha lastrado la elaboración de conclusiones útiles en la toma de decisiones:

- **Matriz de datos compleja sin estandarizar:** el proceso de ordenar la matriz de datos es difícil y tedioso. Debido a la gran cantidad de datos, observaciones, fechas de trasvases y zonas, la elaboración de gráficas y tablas se tornó complicada.
- **Datos subjetivos o no estandarizados:** los parámetros que se tratan como cualitativos cuando podrían ser cuantitativos, como es el caso de la humedad, se convierten en irrelevantes desde un punto de vista científico. Si además de ser cuantitativos no se estandarizan con la ayuda de una escala, por ejemplo, dándole tres valores (húmedo, seco y muy seco), no tienen utilidad.
- **Acumulación de la carga de trabajo:** dejar el tratamiento de datos para el final del proyecto hace que se acumule una gran cantidad de trabajo. Sería mejor tratar los datos cada 3 meses (aproximadamente la mitad de la duración de un proceso de compostaje) para poder detectar incidencias y corregirlas.
- **Denominación confusa de las composteras:** en la matriz de datos de un punto de compostaje, en ocasiones se pone el mismo nombre a módulos distintos. Esto genera confusión, pues al analizar los datos *a posteriori* no se pueden distinguir, provocando que algunos datos se tengan que descartar.

4.4. Plan de Mejora

Tras el análisis de los resultados de calidad de los compost obtenidos y las incidencias durante el proyecto piloto surge la necesidad de elaborar un Plan de Mejora. La finalidad de este es servir de guía en el proceso de compostaje comunitario en los futuros proyectos de la isla de Tenerife, así como en el resto del archipiélago canario. Y es que este tipo de proyectos están proliferando en las islas, dada la obligación impuesta por la Ley 7/2022 de recoger separadamente los biorresiduos para antes del 31 de diciembre de 2023. Así, después de un proceso de reflexión, se ha elaborado el siguiente Plan de Mejora, que contiene un Plan de Gestión y un Plan de Muestreo.

4.4.1. Plan de Gestión

Para elaborar el Plan de Gestión se han seguido las recomendaciones de la “Guía práctica para la implementación del compostaje comunitario como alternativa para la gestión local de los biorresiduos” publicada por la Unión Europea⁶. Se ha dividido en: diseño de un proyecto de compostaje comunitario, procesos operativos y procesos de apoyo.

Diseño de un proyecto de compostaje comunitario

- **Ubicación:** los puntos de compostaje deben situarse en zonas bien señalizadas y atractivas para que su visibilidad contribuya a la campaña de sensibilización. Además, tendrán mayor participación si están en una zona de libre acceso y sin restricción de horarios.
- **Dimensionamiento adecuado:** las composteras de 1 m³ son grandes y tardan en llenarse, por lo que hay que aumentar la participación ciudadana.
- **Módulos y trasvases:** mantener las composteras modulares y el sistema de dos trasvases, pues se ha demostrado que son los más eficientes⁶.
- **Operarios:** la figura del maestro o maestra compostador como un técnico formado específicamente en la gestión de biorresiduos es esencial. Conseguir la máxima eficiencia del proceso es especialmente importante durante los primeros años de implantación del compostaje comunitario como modelo alternativo para la gestión de residuos orgánicos. Cuando el modelo esté más afianzado se puede plantear la formación de vecinos voluntarios que puedan aligerar las tareas de seguimiento^{6,17}. Por eso, se propone que haya:
 - un maestro/a compostador por municipio;
 - un maestro/a compostador para la Universidad de La Laguna;
 - un profesor/a encargado de la dinamización en cada facultad y centro educativo donde haya un punto de compostaje comunitario.
- **Residuos aceptados:** a pesar de que en un inicio se pretendía tratar sólo residuos vegetales, se debe permitir la aportación de todos los residuos orgánicos domésticos. La realidad es que la adición de restos proteicos es la única forma de alcanzar temperaturas que garanticen la higienización del compost⁶.

Procesos operativos

- **Visitas:** el maestro compostador debe hacer al menos una visita de seguimiento y dos de mantenimiento a la semana. Al final de las visitas, se debe rellenar una ficha en Excel que facilite el proceso posterior de tratamiento de datos.
- **Seguimiento:** el maestro compostador debe registrar los siguientes parámetros:
 - **Temperatura:** se debe medir con una sonda, primero la temperatura ambiente y después la del compost en 3 puntos diferentes (en el centro, en la zona de

transición y en las paredes del módulo) y en diagonal⁶. Esto se debe hacer en cada módulo, independientemente de la etapa en que se encuentre.

- **Humedad:** la medición cuantitativa de la humedad debería hacerse en un laboratorio con una muestra representativa, pero es necesario controlarla semanalmente. Por eso, se puede usar un método cualitativo conocido como “prueba del puño”, que consiste en apretar una porción de compost y si se mantiene la forma y no gotea tiene la humedad adecuada. Si gotea, se debe añadir estructurante. Si se desmenuza, necesita riego.
- **Nivel de llenado:** aprovechando que las composteras modulares de Elkarkide están constituidas por 10 tablones horizontales, se puede contar el nivel de llenado contando el tablón al que llega el contenido de cada compostera. Por ejemplo, si llega al tercer tablón, está lleno al 30%.
- **Reserva de estructurante:** se debe mantener los contenedores de estructurante llenos y en buen estado. Esto incluye que sean restos de poda leñosos, no herbáceos y estén limpios y triturados.
- **Incidencias:** cuando se detecte una incidencia se debe registrar (por escrito y con fotografías) y comunicar a los posibles responsables. Así, se puede corregir y eliminar la causa lo antes posible.
- **Mantenimiento:** el maestro compostador debe realizar las siguientes tareas:
 - **Volteo:** se debe voltear el compost periódicamente para homogeneizar la mezcla, la humedad y reducir la compactación. En la fase termófila, los volteos se harán con mayor frecuencia que durante la maduración. También es importante mantener los volteos tras el máximo de temperatura, para alargar la higienización⁷.
 - **Riego:** si se ha detectado sequedad del compost, se debe regar con efecto lluvia mientras se voltea, para ayudar a la homogeneización de la humedad.
 - **Aporte de estructurante:** si se ha detectado una alta compactación o humedad del compost, se debe añadir estructurante mientras se voltea, para ayudar a su homogeneización.
 - **Trasvase:** idealmente, se realizarán los trasvases cuando el módulo esté lleno. Sin embargo, si se detecta que la velocidad de llenado es muy baja y el contenido de un módulo está avanzando a la siguiente fase del proceso (en base a la evolución de la temperatura), se puede adelantar el trasvase.
 - **Cribado:** al finalizar la maduración, se deben separar los materiales que hayan resistido al proceso de compostaje, como fragmentos leñosos de estructurante o impropios.
 - **Toma de muestra:** en el caso de necesitar una analítica, se seguirá el protocolo establecido en el apartado 4.4.2.
- **Registro de datos:** es aconsejable que el maestro compostador anote los datos del seguimiento y mantenimiento en formato digital y que estos se guarden en la nube. Además, dichos ficheros deberían almacenarse en una carpeta compartida con el Cabildo de Tenerife. De esta forma, toda la información se encontraría ubicada en un mismo espacio, accesible para los gestores y entidades de control, garantizando la trazabilidad del proceso de compostaje.
- **Tratamiento de datos:** el maestro compostador debe tratar los datos obtenidos en el seguimiento, de forma trimestral. Así, se tiene mayor margen de actuación para implementar acciones correctivas en caso de detectar incidencias.
- **Dinamización:** el maestro compostador debe resolver dudas de los participantes a través de grupos de comunicación (*WhatsApp* o *Telegram*) y periódicamente, reunirse con ellos en el punto de compostaje. También debe tener una actitud proactiva que anime a otros a unirse al proyecto, por ejemplo, a través de redes sociales.

- **Almacenamiento:** el compost se debe almacenar en lugar seco y protegido del sol, el viento y la lluvia. Además, debe estar en un espacio controlado para evitar la contaminación del compost por acción humana, animal o por la propagación de semillas viables.
- **Reparto:** el producto final se repartirá a los participantes, al área de jardinería de los ayuntamientos y del Cabildo de Tenerife y a los potenciales participantes y agricultores que lo soliciten, en forma de:
 - sacos de menos de 1 Kg: opción adecuada para los eventos de educación ambiental y promoción del compostaje comunitario.
 - sacos de más de 1 Kg o a granel: esta opción debe garantizar la trazabilidad del producto y deberá llevar asociada la documentación requerida por la normativa vigente, en función de su uso.

Procesos de apoyo

- **Estimación de las cantidades de residuos tratados:** es un dato útil a la hora de comprobar el grado de cumplimiento de los objetivos de reciclaje de la Unión Europea. El método más adecuado dados los resultados del proyecto piloto, es midiendo el peso directo de los materiales aportados con una báscula y estimando el volumen añadido de estructurante.
- **Comunicación entre instituciones:** debe mantenerse la comunicación fluida entre los maestros compostadores y el profesorado encargado de los puntos de compostaje en centros educativos. De esta forma, se pueden compartir experiencias, incidencias y dudas, por ejemplo, a través de un grupo de *WhatsApp* o *Telegram*.
- **Formación:** los maestros compostadores deben tener o recibir formación específica sobre normativa vigente de residuos, el tratamiento de residuos sólidos urbanos, el plan local de gestión de residuos, educación ambiental, la ciencia del compostaje y el compostaje comunitario. De igual forma, los participantes deben recibir cierta formación que podrán adquirir de forma presencial, en las reuniones periódicas con el maestro compostador o a través de una selección de vídeos, disponibles en la web del proyecto.
- **Campañas de sensibilización:** al iniciar un nuevo proyecto, cada ayuntamiento debería entregar por correo postal, una circular explicando el sistema de compostaje comunitario, dado el carácter obligatorio de la recogida selectiva de biorresiduos. Asimismo, se impartirán charlas informativas en los centros educativos de los municipios.
- **Jornadas de compostaje:** se pueden organizar unas jornadas anuales en la Isla con actividades de educación ambiental, talleres, concursos y reconocimientos a los mejores compost. De esta forma se trabaja la participación y la motivación de las comunidades vecinales. Este tipo de iniciativas han tenido éxito en Navarra y Galicia.

4.4.2. Plan de Muestreo

Para obtener unos resultados que reflejen de forma fiel la calidad del compost, es esencial elaborar y seguir un plan de muestreo. La mayoría de los errores de un proceso analítico se cometen durante la toma de muestras. Para desarrollar la metodología del siguiente plan de muestreo se han seguido las indicaciones del Laboratorio de Análisis Agrícolas Agrarprojekt¹⁷.

1. Definición de la metodología: durante el primer año del proyecto se realizará una analítica por lote, tal como establece el Decreto 63/2019 del País Vasco. Si se cumplen los requisitos

del RD 506/2013, se procederá a realizar al menos una analítica anual⁶ en cada punto de compostaje comunitario. Cuando se detecten incidencias en un lote, se le realizará una analítica.

2. Selección de los puntos de toma de muestra en el lote: cuanto más grande y heterogéneo sea el lote, mayor será la cantidad de puntos a muestrear. Por lo general, se recomienda tomar incrementos de cinco puntos del módulo de compostaje (Fig. 4.10).

3. Determinación del número y tamaño de los incrementos: en cada punto de muestreo se tomarán 3 incrementos de 150 gramos a distintas profundidades (cerca de la superficie, en el centro y cerca del centro hacia la zona más profunda). Los 15 incrementos se depositarán en un balde y se homogeneizarán con un aireador. De esta muestra bruta compuesta se pesará 1 Kg, que constituirá la muestra para enviar al laboratorio (Fig. 4.10).

4. Elección de material para la toma de muestra: se necesitarán una bolsa de plástico, una pala, un aireador, un balde, una báscula y una nevera portátil.

5. Acceso a los puntos de toma de muestra: se tomarán los incrementos con ayuda de una pala y si es posible, tras el desmonte del módulo, para facilitar la toma de muestra.

6. Elección del momento adecuado: se tomará la muestra cuando el compost se considere maduro y se vaya a almacenar. Es preferible tomar las muestras inmediatamente después de voltear el compost, puesto que se habrá homogeneizado el lote.

7. Selección de personal: el maestro compostador se encargará de la toma de muestra.

8. Sistema para la identificación de muestras: se etiquetarán las bolsas con el nombre del punto de compostaje y la fecha de inicio de la tanda de compost. Por ejemplo, el compost comenzado en la finca Los Zamorano en Tegueste el 3 de mayo de 2023 se identificará como LZ-TE_03/05/23.

9. Envío y almacenamiento de las muestras: las bolsas con muestras de compost se transportarán en una neverita portable. De esta forma, se evitará la exposición al sol y a altas temperaturas durante su transporte al laboratorio. En caso de tener que almacenarlo antes del envío al laboratorio, se guardarán las muestras en un lugar oscuro, fresco y seco.

10. Elaboración de un informe: este incluirá fecha de la toma de muestra, responsable, número de muestras, peso o volumen, código asignado a cada muestra, laboratorio de destino de la muestra y observaciones o problemas surgidos durante el proceso.

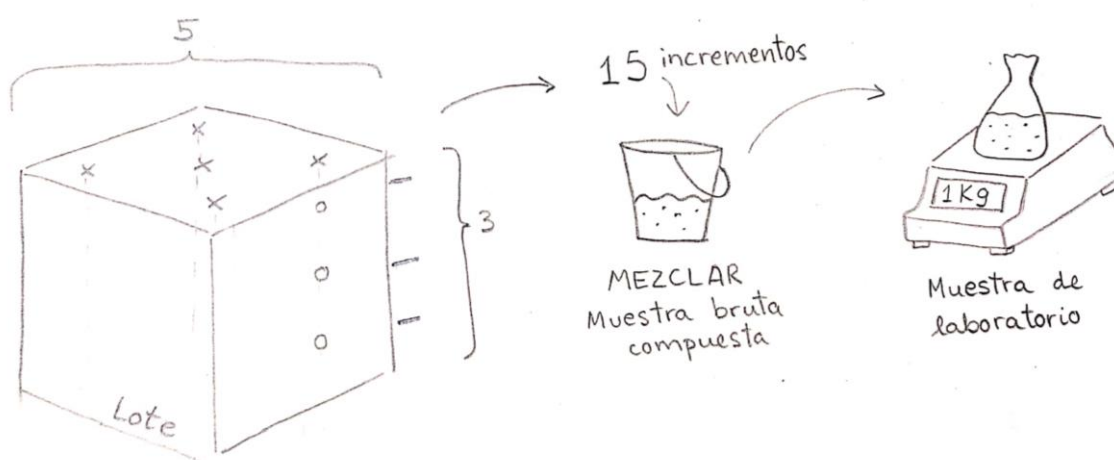


Figura 4.10. Esquema de la toma de muestra en el módulo de compostaje.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente Trabajo Fin de Grado ha dado lugar a las siguientes conclusiones:

- Para diseñar un proyecto de compostaje comunitario exitoso, las composteras deben situarse en zonas bien señalizadas, de libre acceso, sin restricción de horarios y atractivas, cuya visibilidad contribuya a la campaña de sensibilización. Asimismo, las composteras deben ser modulares y deben llenarse siguiendo el sistema de trasvases para asegurar su máxima eficiencia.
- La figura del maestro o maestra compostador como un técnico formado específicamente en la gestión de biorresiduos es esencial. Por ello es necesario un maestro/a compostador por municipio; un maestro/a compostador para la Universidad de La Laguna y un profesor/a encargado de la dinamización en cada facultad y centro educativo donde haya un punto de compostaje comunitario.
- La aportación de todos los residuos orgánicos domésticos, tanto vegetales como proteicos, garantiza la higienización del compost y contribuye al cumplimiento de la normativa europea.
- El seguimiento semanal y protocolizado de las composteras para registrar parámetros como Temperatura, Humedad, Nivel de llenado, Reserva de estructurante e Incidencias es fundamental para garantizar la calidad del compost.
- Las labores de mantenimiento semanales son necesarias para el éxito del compostaje comunitario, así las tareas de Volteo, Riego, Aporte de estructurante, Traslado, Cribado son esenciales para garantizar la calidad del producto final.
- Es deseable realizar un Tratamiento de datos en línea con la supervisión y seguimiento de las composteras para una correcta toma de decisiones sobre el manejo del compost.
- Las labores de comunicación entre instituciones, formación de maestros compostadores y las campañas de sensibilización e información son esenciales en el éxito del compostaje comunitario.
- La definición de la metodología de muestreo y análisis del compost son primordiales para garantizar la calidad del compost y soportar la toma de decisiones en el manejo de las composteras.

6. BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía científico-técnica

- (1) Kaza, S.; Yao, L. C.; Bhada-Tata, P.; Van Woerden, F. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*; World Bank, 2018.
- (2) Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Perfil Ambiental de España 2020*; 2021.
- (3) Ayuntamiento de Albacete. *Guía Didáctica Sobre Gestión De Los Residuos Urbanos En Albacete*; 2017.
- (4) Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Fracciones*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/> (accessed 2023-02-15).
- (5) Bonmatí, A. Capítulo 8. Gestión y Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos. In *Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica*; 2008.
- (6) Plana, R.; Arismendiarrieta, J.; Puyuelo, B.; Irigoien, I.; Nohales, G. *Guía Práctica Para La Implementación Del Compostaje Comunitario Como Alternativa Para La Gestión Local de Los Biorresiduos*; 2021.
- (7) Álvarez, J. M. *Manual de Compostaje Para La Agricultura Ecológica*; 2014. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20182.24647>.
- (8) Deputación de Pontevedra. *Compostaje comunitario*. <https://revitaliza.depo.gal/compostaxe-comunitaria> (accessed 2023-01-09).
- (9) Mancomunidad Comarca de Pamplona. *Compostaje Doméstico y Comunitario*. <https://www.mcp.es/residuos/gestion-de-residuos/compostaje-domestico-y-comunitario> (accessed 2023-01-09).
- (10) Bueno, P.; Díaz, M. J.; Cabrera, F. Capítulo 4. Factores Que Afectan al Proceso de Compostaje. In *Compostaje*; 2008; pp 93–109.
- (11) Rawat, M.; Ramanathan, AL.; Kuriakose, T. Characterisation of Municipal Solid Waste Compost (MSWC) from Selected Indian Cities—A Case Study for Its Sustainable Utilisation. *J Environ Prot (Irvine, Calif)* **2013**, *04* (02), 163–171. <https://doi.org/10.4236/jep.2013.42019>.
- (12) Cabildo de Tenerife. *Tenerife + Sostenible: Proyecto Comunidades Circulares: Compostaje y Vermicompostaje*. <https://tenerifemassostenible.tenerife.es/ambitos-tematicos/experiencias-para-la-sostenibilidad/proyecto-comunidades-circulares-compostaje-y-vermicompostaje/> (accessed 2022-12-21).
- (13) Zapata, V. M.; Mesa, A.; Fonte, M. E. Procesos Comunitarios Como Vías de Inclusión Social: La Participación de Las Personas Inmigrantes En El Proyecto ICI Taco de Tenerife. *Cuadernos Manuel Giménez Abad*. 2020, pp 58–69.
- (14) Instituto Nacional de Estadística. *Atlas de distribución de renta de los hogares. Últimos datos*. https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736177088&menu=ultiDatos&idp=1254735976608 (accessed 2023-03-04).
- (15) Gutiérrez, J.; Herrera, J. M.; Álvarez, M.; Rodríguez, G.; Torrado, E. *Diagnóstico Sobre La Situación Del Menor, Adolescente y La Familia En El Municipio de Tegueste*; 2020.

- (16) Choudhary, P.; Kumar, M.; Arya, S. S. Biochemical Characterization of Some Salinity Phyto-Remediating Plants. *Ann Biol* **2021**, 37 (1).
- (17) Agrarprojekt. *Muestreo de Compost*. <https://www.agrarprojekt.com/muestreo-compost> (accessed 2023-05-23).

6.2. Normativas

Decreto 63/2019, de 9 de abril, por el que se establece el régimen jurídico y las condiciones técnicas de las instalaciones y actividades de compostaje comunitario (BOPV núm 74, de 16 de abril de 2019).

Ley 1/1999, de 29 de enero, de residuos de Canarias (BOE núm. 46, de 23 de febrero de 1999).

Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular (BOE núm. 85, de 09 de abril de 2022).

Orden 18/2018, de 15 de mayo, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, por la que se regulan las instalaciones de compostaje comunitario en el ámbito territorial de la Comunitat Valenciana (DOGV núm 8300, de 22 de mayo de 2018).

Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes (BOE núm. 164, de 10 de julio de 2013).

Anexo I

Datos recopilados del proyecto “Comunidades Circulares: Compostaje y Vermicompostaje”

Tabla AI.1. Análisis fisicoquímico de muestras de agua de abasto de Los Zamorano, Tegueste (LZ-TG); Aulario Guajara, Universidad de La Laguna (AU-ULL); y Huerto comunitario de San Matías, La Laguna (SM-LG) modificado de CSIC, 2023.

Parámetros	LZ-TG	AU-ULL	SM-LG
pH	8,41	8,1	8,31
CE (µS/cm)	1160	1186	815
meq/L carbonatos	2,01	1,05	0,8
meq/L bicarbonatos	9,85	10,65	4,56
ppm cloruros	27,1	48,7	138,63
meq/L cloruros	0,774	1,391	3,961
ppm fluroruros	2,348	0	0,654
ppm nitratos	3,22	0,19	0
ppm sulfatos	16,83	15,34	24,59
meq/L sulfatos	0,34318923	0,31280587	0,50142741
ppm Ca	14,45	13,06	19,46
meq/L Ca	0,7225	0,653	0,973
ppm Mg	85,59	58,72	32,69
meq/L Mg	7,03865132	4,82894737	2,68832237
ppm Na	62,35	130,5	107,4
meq/L Na	2,71086957	5,67391304	4,66956522
ppm K	50,84	58,72	16,83
meq/L K	1,30358974	1,50564103	0,43153846
ppm Boro	0,063	0,054	0,061
Suma aniones	10,967	12,354	9,022
Suma cationes	11,7756106	12,6615014	8,76242605
CE (µS/cm)	1160	1186	815

Tabla AI.2. Resumen de los valores de los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE), relación carbono nitrógeno (C/N), humedad, materia orgánica, carbono y nitrógeno totales analizados para todas las muestras del Huerto Comunitario San Matías en La Laguna (SM-LG); a partir de datos del CSIC, 2023.

SM-LG	10/05/22-LL-SM-7/04/2022-7/08/22
pH	7,3
CE (mS/cm)	6,0
Relación C:N	8,7
Humedad (% en materia seca)	30
Materia Orgánica (% en materia seca)	24,0
Carbono Total (% en materia seca)	13,9
Nitrógeno Total (% en materia seca)	1,6

Tabla AI.3. Resumen y media de los valores de los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE), relación carbono nitrógeno (C/N), humedad, materia orgánica, carbono y nitrógeno totales analizados para todas las muestras de Los Zamorano, Tegueste (LZ-TE); a partir de datos del CSIC, 2023.

LZ-TE	pH	CE (mS/cm)	Relación C:N	Humedad (% en materia seca)	Materia Orgánica (% en materia seca)	Carbono Total (% en materia seca)	Nitrógeno Total (% en materia seca)
25/08/22-TE-LZ-16/12/21-16/06/22	7,3	9,1	5,4	32	31	18	3,3
25/08/22-TE-LZ-30/12/21-30/05/22	7,7	12,6	6,3	31	34	19	3,0
25/08/22-TE-LZ-16/12/21-16/06/22	7,1	8,1	5,7	32	35	20	3,5
25/08/22-TE-LZ-20/01/22-20/06/22	7,1	9,3	5,9	29	37	21,5	3,6
25/08/22-TE-LZ-25/01/22-25/06/22	8,1	9,9	7,0	31	41	23,8	3,4
25/08/22-TE-LZ-25/01/22-25/06/22	7,8	8,3	5,0	33	31	18	3,6
25/08/22-TE-LZ-11/02/22-11/07/22	7,8	8,7	5,5	31	34	19,7	3,6
25/08/22-TE-LZ-03/12/21-03/06/22	7,6	9,4	4,8	29	34	19	3,9
05/09/22-TE-LZ-05/05/22-05/09/22	9,0	9,7	5,2	30	26	15,1	2,9
08/03/22-TE-LZ-05/10/2021-05/03/22	8,4	6,3	6,0	36	22,7	13,2	2,2
08/03/22-TE-LZ-24/10/2021-24/03/22	8,8	9,45	6,6	39	34,3	19,9	3,0
08/03/22-TE-LZ-27/09/2021-27/02/22	8,3	9,1	6,5	38	30,2	17,5	2,7
08/03/22-TE-LZ-08/09/2021-08/02/22	9,0	11,4	8,8	38	42,4	24,6	2,8
08/03/22-TE-LZ-27/082021-27/01/22	8,0	8,4	7,9	41	47,7	27,7	3,5
08/03/22-TE-LZ-17/08/2021-17/01/22	8,3	7,4	7,8	36	42,8	24,9	3,2
08/03/22-TE-LZ-20/11/2021-20/04/22	9,0	9,5	9,1	38	46,8	27,2	3,0
14/11/22-TE-LZ-09/7/22-09/10/22	8,4	10,6	6,5	32	35	20	3,0
MEDIA	8,1	9,3	6,5	33,9	35,6	20,5	3,2

Tabla AI.4. Resumen y media de los valores de los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE), relación carbono nitrógeno (C/N), humedad, materia orgánica, carbono y nitrógeno totales analizados para todas las muestras del Aulario Guajara en la Universidad de La L Laguna (AU-ULL); a partir de datos del CSIC, 2023.

AU-ULL	16/06/22-ULL-AU-21/12/21-12/06/22	14/10/22- ULL-AU-11/7/22-11/10/22	14/10/22-ULL-AU-8/7/22-8/10/22	MEDIA
pH	7,8	7,8	7,6	7,7
CE (mS/cm)	6,5	5,9	9,1	7,2
Relación C:N	4,2	7,7	11,4	7,8
Humedad (% en materia seca)	31	31	34	32,0
Materia Orgánica (% en materia seca)	33,7	30	56	39,9
Carbono Total (% en materia seca)	19,6	17	33	23,2
Nitrógeno Total (% en materia seca)	4,6	2,2	2,9	3,2

Tabla AI.5. Ficha de seguimiento del módulo de aportación de compostaje comunitario del Aulario Guajara en la Universidad de La Laguna. (Modificado del Cabildo Insular de Tenerife, 2023).

	Zona	Operaciones	Fecha	Compos tera	Experiencia A	Experiencia B	Experiencia C	Experiencia D	Experiencia E
APORTACIÓN	Aulario Guajara		28/01/2022	1					
	Aulario Guajara		03/02/2022	1	24,0				
	Aulario Guajara		10/02/2022	1	47,8				
	Aulario Guajara	Vaciado	16/03/2022	1	27,0				
	Aulario Guajara		25/03/2022	1					
	Aulario Guajara		28/03/2022	1		29,3			
	Aulario Guajara		01/04/2022	1		47,0			
	Aulario Guajara		07/04/2022	1		65,8			
	Aulario Guajara	Vaciado	21/04/2022	1		54,7			
	Aulario Guajara		28/04/2022	1					
	Aulario Guajara		29/04/2022	1			40,0		
	Aulario Guajara		02/05/2022	1			44,0		
	Aulario Guajara		06/05/2022	1			54,0		
	Aulario Guajara		10/05/2022	1			67,3		
	Aulario Guajara		17/05/2022	1			70,7		
	Aulario Guajara		20/05/2022	1			63,3		
	Aulario Guajara		25/05/2022	1			65,6		
	Aulario Guajara	Vaciado	06/06/2022	1			52,7		
	Aulario Guajara		16/06/2022	1					
	Aulario Guajara		30/06/2022	1				34,7	
	Aulario Guajara		30/06/2022	1				51,3	
	Aulario Guajara		08/07/2022	1				36,0	
	Aulario Guajara		08/07/2022	1				29,3	
	Aulario Guajara		11/07/2022	1				48,7	
	Aulario Guajara		03/08/2022	1				34,0	
	Aulario Guajara		16/09/2022	1				22,3	
	Aulario Guajara		25/10/2022	1				39,3	
	Aulario Guajara		18/11/2022	1				50,7	
Aulario Guajara	Vaciado	25/11/2022	1				63,7		

Tabla A1.6. Resultados de los análisis de metales pesados de las muestras de Huerto San Matías en La Laguna, Aulario Guajara en la Universidad de La Laguna y Los Zamorano en Tegueste (modificado de CSIC, 2023).

Zona	Metales pesados (mg/Kg)	Cu	Zn	Pb	Ni	Hg	Cd	Cr
Huerto San Matías. La Laguna	10/05/22-LL-SM-7/04/2022-7/08/22	40	55	7,90	2,30	No detectable	No detectable	3,90
Aulario Guajara. Universidad de La Laguna	16/06/22-ULL-AU-21/12/21-12/06/22	39	68	4,90	0,91	No detectable	No detectable	0,56
	14/10/22-ULL-AU-8/7/22-8/10/22	26	103	3,60	0,12	No detectable	No detectable	No detectable
	14/10/22- ULL-AU-11/7/22-11/10/22	32	223	0,47	0,14	No detectable	No detectable	0,10
Los Zamorano. Tegueste	14/11/22-TE-LZ-9/7/22-9/10/22	32	237	12,00	0,95	No detectable	No detectable	2,90
	5/09/22-TE-LZ-5/05/22-5/09/22	23	216	8,70	0,70	No detectable	No detectable	5,00
	25/08/22-TE-LZ-3/12/21-3/06/22	26	107	11,00	1,00	No detectable	No detectable	1,70
	25/08/22-TE-LZ-11/02/22-11/07/22	19	122	4,60	0,35	No detectable	No detectable	0,56
	25/08/22-TE-LZ-25/01/22-25/06/22	21	191	7,80	0,65	No detectable	No detectable	1,50
	25/08/22-TE-LZ-20/01/22-20/06/22	18	156	5,50	0,42	No detectable	No detectable	0,74
	25/08/22-TE-LZ-17/02/22-17/06/22	24	106	4,60	0,44	No detectable	No detectable	0,72
	25/08/22-TE-LZ-16/12/21-16/06/22	29	107	8,60	0,89	No detectable	No detectable	1,70
	25/08/22-TE-LZ-30/12/21-30/05/22	19	235	7,40	0,63	No detectable	No detectable	1,00
	25/08/22-TF-LZ-15/10/21-15/03/22	29	117	9,10	1,60	No detectable	No detectable	2,70
	08/03/2022-TE-LZ-05/10/2021-05/03/2022	49	76	0,48	0,19	No detectable	0,02	0,31
	08/03/2022-TE-LZ-24/10/2021-24/03/2022	34	59	0,78	0,16	No detectable	No detectable	0,24
	08/03/2022-TE-LZ-27/09/2021-27/02/2022	39	82	0,89	0,66	No detectable	No detectable	0,65
	08/03/2022-TE-LZ-08/09/2021-08/02/2022	28	57	0,84	0,41	No detectable	0,01	0,88
	08/03/2022-TE-LZ-17/08/2021-17/01/2022	32	86	0,86	0,86	No detectable	0,03	1,90
08/03/2022-TE-LZ-20/11/2021-20/04/2022	21	66	0,79	0,18	No detectable	No detectable	0,37	

Tabla AI.7. Evolución de las cantidades de FORSU tratadas mediante compostaje en las distintas zonas del proyecto piloto “Comunidades Circulares” (modificado del Cabildo de Tenerife, 2023).

ZONA DE COMPOSTAJE			TEGUESTE	TOTALES TEGUESTE	LA LAGUNA	TOTALES LA LAGUNA	ULL	TOTALES ULL	TOTALES EL ROSARIO	TOTALES TACORONTE	Totales de las Zonas del proyecto
			CASA LOS ZAMORANO		HUERTO COMUNITARIO SAN MATÍAS		AULARIO. CAMPUS GUAJARA				
FAMILIAS INSCRITAS			48	59	12	79	10	93	18	66	315
TOTAL DE PERSONAS			138	166	36	209	30	279	56	190	932
GRANDES GENERADORES				1		0		3	2	0	6
TOTAL KG COMPOST GENERADO APROX			1194,2	1566,7	60	361	389,6	682,6	661,5	1560	4.831,80
TOTAL KG MATERIA ORGÁNICA RECOGIDA			6864,1	8816,9	3539,2	6192,6	3769,4	8681,1	2991,8	4998,9	31.681,20
KG. DE MATERIA ORGÁNICA RECOGIDA MENSUALMENTE - 2021/2022	nov-22	familias que aportan	37	47	9	37	2	18	10	32	144
		kg. que aportan	653	887	554,7	837	396	1056	243	336	3359
	oct-22	familias que aportan	33	44	10	36	2	18	10	34	142
		kg. que aportan	612,5	808	415	705	380	928	367	392	3247
	sep-22	familias que aportan	38	45	8	27	2	13	8	27	120
		kg. que aportan	671,1	771	415	595	150	565	240	303	2473
	ago-22	familias que aportan	37	43	9	19	2	9	8	25	104
		kg. que aportan	631,7	722,7	781	905,2	0	30	97,8	290,9	2046,5
	jul-22	familias que aportan	33	38	8	32	2	8	5	30	113
		kg. que aportan	595,1	687,1	330	518	169	387,7	106,3	386,6	2005,6
	jun-22	familias que aportan	32	39	7	33	3	20	10	36	138
		kg. que aportan	519	617,5	425,6	821,5	405,9	881,2	277,1	423,9	3021,1
	may-22	familias que aportan	30	0	7	78	5	27	12	34	190
		kg. que aportan	536,78	704,58	162,5	1075,98	709	1973,7	472,4	429,47	4656,13
	abr-22	familias que aportan	22	30	6	26	4	14	10	26	106
		kg. que aportan	326,11	456,21	153	365,7	419,1	588,4	316,2	270,02	1996,52
	mar-22	familias que aportan	23	31	4	25	3	11	9	34	110
		kg. que aportan	356,63	522,43	133	227,68	503,5	639,9	269,4	419,37	2078,78
	feb-22	familias que aportan	17	26	5	15	4	13	4	31	90
		kg. que aportan	307,88	474,08	31,5	130,06	310,9	929,1	157	354,58	2044,82
	ene-22	familias que aportan	20	43	3	13	2	9	2	21	71
		kg. que aportan	296,33	380,33	73,6	207,05	214	305,7	113,5	268,83	1275,41
	dic-21	familias que aportan	15	22	2	12	2	8	5	23	67
		kg. que aportan	305,61	386,61	30,3	226,97	112	185,3	76	265,71	1140,58
nov-21	familias que aportan	19	39	3	33		6	10	27	73	
	kg. que aportan	295956,00	0,00	34,00	0		92,9	133,8	423,9	1057	
oct-21	familias que aportan	20	39		27		5	12	34	68	
	kg. que aportan	249,88	0		0		71,2	122	0	835,4	
sep-21	familias que aportan	17	30		26		0	10	26	39	
	kg. que aportan	241,97	4862100		365,7		0	3162000	270,02	491,34	
ago-21	familias que aportan	14	31		25		14	9	34	39	
	kg. que aportan	264776	5224300		227,68		639,9	269,4	419,37	502,13	

Anexo II

Especificaciones técnicas de las composteras modulares de Elkarkide

DESCRIPCIÓN, DESARROLLO DE COMPOSTADORAS Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

COMPROMISO

Elkarkide es una empresa comprometida con la responsabilidad social y la sostenibilidad con el medioambiente, trabajando en la innovación y la fabricación de productos ecodiseño, alineados a economía circular, facilitando el desarrollo en el compostaje comunitario.



DESARROLLO

Elkarkide comienza a desarrollar productos para el compostaje comunitario desde el año 2013, creando los primeros modelos que se instalan en diferentes campings de Navarra. Dichos modelos resultan adecuados para potenciar el compostaje comunitario y su mantenimiento. Posteriormente, el éxito de las compostadoras permite que en la actualidad tengamos infinidad de unidades colocadas a nivel estatal.

Nuestros módulos de compostaje han mantenido una evolución continua, una vez comprobada la falta de resistencia en las tapas de fibra colocadas en los primeros modelos, fueron sustituidas por tapas metálicas. Los elementos metálicos han sido protegidos con baño de galvanizado en caliente. La dilatibilidad del plástico reciclado y sus movimientos asociados a los contrastes de las temperaturas han sido dimensionados y corregidos por la estructura metálica que fortalece el producto en cualquier tipo de configuración y en montajes de cualquier zona, por agresiva que sea su climatología.



ECOPRODUCTO

Los materiales empleados en la fabricación de nuestra compostadora son acero y plástico reciclado, ambos son reciclables al 100% por lo que después de proporcionar muchos años de uso pueden convertirse de nuevo en la materia prima de la que están compuestos.



DURABILIDAD Y RESISTENCIA

Tras visitar las primeras zonas de compostaje instaladas en Marzo de 2013 en Leiza y diferentes zonas rurales de la mancomunidad de Sakana, se puede comprobar que nuestros módulos de compostaje se mantienen perfectamente a pesar de la agresividad química de los procesos de compostaje y la dureza de la climatología.

Nuestro producto ha sido concebido también para resistir vandalismos y se ha comprobado que las tapas soportan el peso de una persona sin deformarse.

La dureza de los materiales aporta gran calidad y una larga vida al producto, lo que ofrece y certifica garantías poco comunes.



FACILIDAD EN EL TRANSPORTE Y EN EL MONTAJE

El diseño nuestros modelos de compostadoras facilita el montaje final, utiliza piezas polivalentes que evitan complicaciones y pueden ser montadas por personal sin cualificar, se sirve en palét estándar con piezas cuantificadas y siempre revisadas por nuestros estrictos controles de calidad.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

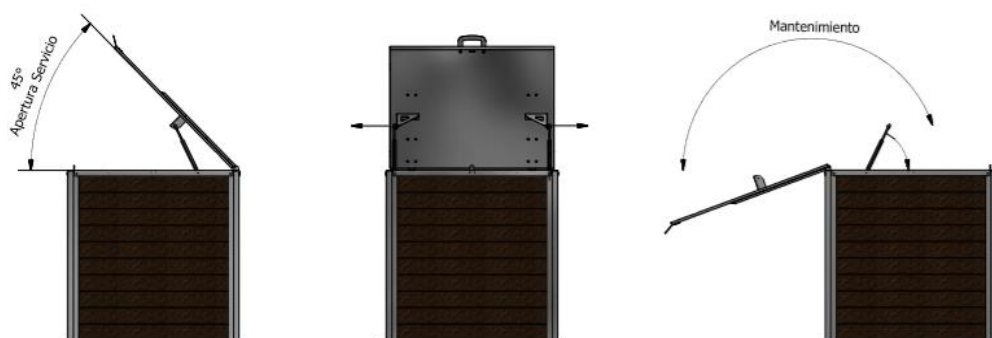
Cada módulo de compostaje tiene una capacidad de 1 m³. Y está compuesta por perfiles de acero galvanizado anclados al suelo. El perímetro del bastidor de la tapa es desmontable en cuatro piezas llamadas conformadores y los amortiguadores están sujetos con bulones. Todo esto permite y facilita en gran medida las labores de mantenimiento, volteos, etc

Las medidas de un módulo son 100X100x100



APERTURA

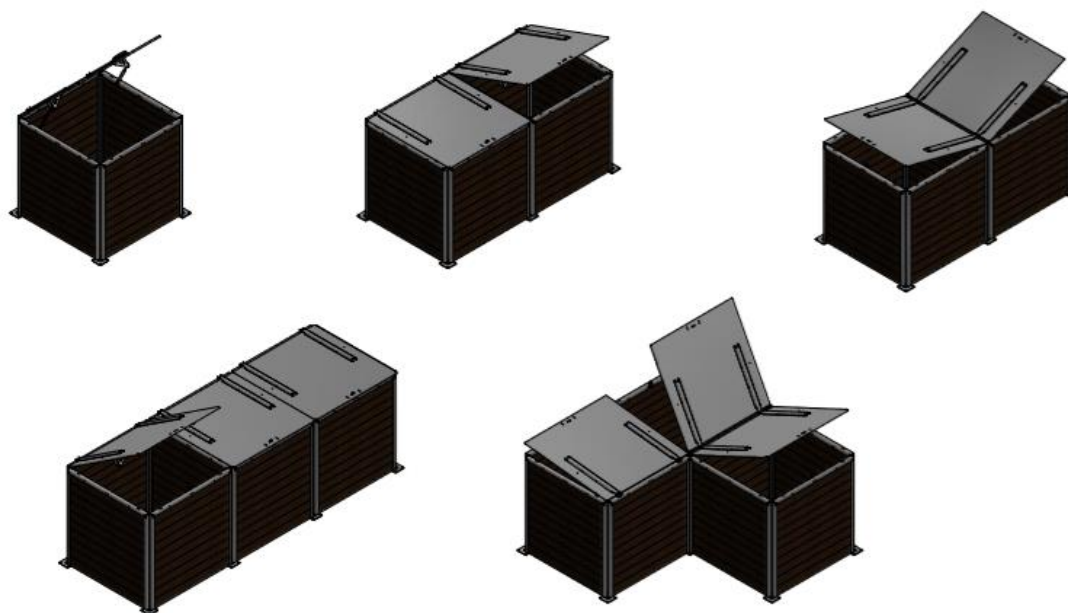
El diseño de nuestro módulo de compostaje facilita la apertura de los usuarios, soportando el peso de la tapa gracias a los amortiguadores que lleva instalados. Su apertura a nivel de usuario es de 45 grados, pero para realizar mantenimientos es posible la apertura total, desmontando los amortiguadores sin ser necesarias herramientas adicionales.



MODULARIDAD

La modularidad de éste modelo permite diferentes composiciones de manera que es fácilmente adaptable a las necesidades y espacios de cada zona.

La polivalencia del producto permite cambios en su configuración, se puede modificar en función de posibles ampliaciones, adaptaciones, cambios de zonas, etc.





MATERIALES

Los materiales elegidos en la producción de las compostadoras de Elkarkide están probados y revisados, han sido utilizados desde nuestros primeros ensayos y van acompañados de todos los certificados correspondientes.

Los elementos metálicos son de acero galvanizado en caliente pero hay opción de realizar el pedido en acero inoxidable.



RENDIMIENTO DE LOS MÓDULOS DE COMPOSTAJE

Depende mucho del estructurante, manejo, frecuencia de aportes y disposición de la isla. El siguiente ejemplo se ha recogido de los seguimientos realizados durante un año en la mancomunidad Navarra de Mendialdea.

Una isla de compostaje de 3 módulos en la que se hacen trasvases del material y se utiliza poda triturada semicompostada, cada módulo gestiona 1,4-2,1 toneladas/año. Equivale a 4,2-6,3 toneladas/año en la isla. Eso, más o menos, sería lo que producen 50-65 personas al año (aquí en la zona rural de Navarra) en tres ciclos anuales.

Pero hay que tener claro que influye en gran medida los aportes, estructurantes, etc. También es determinante la destreza y formación de las personas que realizan las tareas de mantenimiento

