



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS**

**ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS  
GENERADOS EN LA CAFETERÍA DE LA UABC, UNIDAD PUNTA  
MORRO**

**PRESENTA:**

**RUBIEL ISAAC LÓPEZ ÁVILA**

Ensenada, Baja California, agosto 2025

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
Facultad de Ciencias Marinas  
Facultad de Ciencias  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas

PROPUESTA DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS  
GENERADOS EN LA CAFETERÍA DE LA UABC, UNIDAD PUNTA  
MORRO

TRABAJO TERMINAL PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS  
NECESARIOS PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN  
AMBIENTAL

PRESENTA

RUBIEL ISAAC LÓPEZ ÁVILA

Aprobado por:



---

Dra. Mary Carmen Ruiz de la Torre  
Directora



---

Dr. Hiram Rivera Huerta  
Co-Director



---

Dra. Marisa Reyes Orta  
Sinodal



---

Dr. Georges Seingier  
Sinodal

## RESUMEN

El compostaje de residuos orgánicos es una estrategia integral para reducir la disposición final de desechos, mejorar la calidad del suelo y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Además de sus beneficios ambientales, esta práctica fortalece la cultura de sostenibilidad en la comunidad universitaria. La presente investigación tuvo como objetivo proponer un programa de compostaje universitario para el manejo y valorización de los residuos orgánicos generados en la cafetería de la Unidad Punta Morro de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), integrando compostaje tradicional y vermicompostaje continuo con *Eisenia foetida*. El estudio, de enfoque mixto y diseño descriptivo, incluyó un diagnóstico y caracterización de residuos durante cinco meses, registrando 776.19 kg, equivalentes a un promedio de 7.37 kg diarios. Con esta información se desarrolló un protocolo técnico que define procedimientos para la separación, recolección, precompostaje y transferencia a lombrices, acompañado de criterios de monitoreo para asegurar la eficiencia. Asimismo, se elaboró una estrategia participativa para sensibilizar e involucrar al personal de la cafetería y a la comunidad universitaria. La propuesta constituye una base sólida para implementar un modelo institucional replicable, contribuyendo a la reducción de residuos enviados a disposición final y fortaleciendo el compromiso de la UABC con la sostenibilidad y el manejo responsable de los recursos naturales.

**Palabras clave:** compostaje universitario, vermicompostaje, residuos orgánicos, gestión de residuos, estrategia participativa, programa de compostaje.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California y al programa de la Especialidad en Gestión Ambiental por brindarme la oportunidad de continuar mi formación profesional en un área tan necesaria y comprometida con el medio ambiente.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECHITI) por brindarme la beca, cuyo apoyo económico me permitió dedicarme de tiempo completo a mis estudios y concluir exitosamente este trabajo.

A la Dra. Mary Carmen Ruiz de la Torre y al Dr. Hiram Rivera Huerta, codirectores de este trabajo, por su confianza desde el inicio del proyecto y por su acompañamiento durante este proceso. Agradezco sinceramente el apoyo que brindaron para facilitar los medios, recursos y vínculos necesarios para llevar a cabo este trabajo.

A mis sinodales por sus aportaciones y sugerencias para mejorar el trabajo.

Al personal de la cafetería del campus Ensenada, por su disposición y colaboración durante todo el trabajo de campo. Este proyecto no habría sido posible sin los residuos orgánicos que separaron día con día. En especial, gracias a Andrés Sánchez, administrador de la cafetería, por su apoyo constante y todas las facilidades brindadas.

A la Mtra. Stephanie Aguirre Moreno, Jefa del Departamento de Planeación y Proyectos del Campus Ensenada, por su apoyo y disposición durante el desarrollo de este trabajo.

Extiendo mi agradecimiento a todas las personas que, de distintas formas, contribuyeron al desarrollo de este proyecto. A los alumnos, docentes, personal de jardinería y comunidad del campus Ensenada que participaron donando residuos orgánicos y mostrando interés en el trabajo realizado. De manera especial, a Camila Rico, estudiante colaboradora del programa de Ciencias Ambientales, por su valioso apoyo durante el trabajo de campo como parte de su servicio social. Su participación y disposición hicieron posible llevar adelante este proyecto.

Y muy especialmente, a mi esposa Mayra. Desde que decidí entrar al programa hasta el último día de trabajo, ha estado a mi lado. Siempre dispuesta a escucharme, a darme su opinión cuando lo necesitaba, a animarme cuando me sentía estancado o frustrado, y también a recordarme cuándo parar y descansar, o cuándo era momento de dar un esfuerzo extra. Además, sostuvo muchas cosas en casa para que yo pudiera seguir adelante sin tantas cargas encima. Sé que hizo más de lo que le tocaba, y lo hizo con amor. Gracias por compartir conmigo cada parte de este proceso, por tu paciencia, tus palabras, tus ideas y tu compañía.

# ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	MARCO DE REFERENCIA.....	3
2.1	Antecedentes manejo de residuos sólidos urbanos.....	3
2.2	Antecedentes del Programa de Compostaje en la UABC.....	6
2.3	Marco conceptual.....	8
2.3.1	Compostaje.....	9
2.3.2	Vermicompostaje .....	9
2.3.3	Compostaje en universidades.....	10
2.3.4	Educación ambiental en universidades .....	11
2.3.5	Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y su relación con el compostaje	12
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO .....	14
3.1	Planteamiento del problema. ....	14
3.2	Justificación.....	17
3.3	Objetivos .....	19
4	MARCO METODOLÓGICO .....	20
5	RESULTADOS.....	27
5.1	Análisis prospectivo de actores clave.....	27
5.2	Resultados del diagnóstico del sitio actual de compostaje .....	29
5.3	Caracterización de los residuos orgánicos generados en cafetería .....	34
5.4	Propuesta de un protocolo de compostaje universitario .....	39
5.5	Estrategias de sensibilización, comunicación y capacitación propuestas .....	40
6	DISCUSIONES.....	44
7	CONCLUSIONES.....	51
8	REFERENCIAS.....	53
9	ANEXO 1 .....	57

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, forma parte del trabajo terminal para obtener el diploma de Especialidad en Gestión Ambiental, de la Facultad de Ciencias Marinas (FCM), en la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), campus Ensenada. El objetivo principal es proponer un programa para el manejo y valorización de los residuos orgánicos generados en la cafetería del campus, mediante compostaje tradicional y vermicompostaje, que contribuya al fortalecimiento del programa universitario de compostaje. Este programa busca sensibilizar a la comunidad universitaria sobre la importancia del manejo integral de los residuos, promoviendo prácticas sostenibles que reduzcan su impacto ambiental.

La gestión ambiental desempeña un papel esencial en el impulso del desarrollo sostenible, y las instituciones de educación superior tienen una función crucial en este proceso. Según Mawonde y Togo (2019), las universidades actúan como motores de cambio, impulsando la innovación, el desarrollo económico y el bienestar social. Además de ser centros de conocimiento y formación de las futuras generaciones, estas instituciones adoptan prácticas que buscan minimizar los impactos ambientales, promoviendo así la sostenibilidad a través de su enseñanza y su gestión.

En las últimas dos décadas, la acelerada urbanización y el incremento del consumo han generado un aumento significativo en la producción de residuos sólidos urbanos en México, alcanzando 120,128 toneladas diarias, lo que representa un crecimiento del 42.6% (SEMARNAT, 2020). Un porcentaje considerable de estos residuos puede ser aprovechado mediante estrategias como el reciclaje y el compostaje.

La UABC, como parte de su estrategia de gestión ambiental y en concordancia con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ha comenzado a implementar acciones para mejorar el manejo de sus residuos (UABC, 2023). En este marco, el compostaje y vermicompostaje de residuos orgánicos se plantean como estrategias efectivas no sólo para reducir el volumen de desechos, sino también para

mejorar la calidad del suelo, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y fortalecer una cultura ambiental participativa dentro de la comunidad universitaria.

Para el desarrollo de esta propuesta, la tesina se organiza en apartados que permiten abordar el tema de manera integral. En el marco de referencia se exponen antecedentes relevantes sobre el manejo de residuos sólidos urbanos, así como conceptos y fundamentos técnicos del compostaje y el vermicompostaje, su aplicación en entornos universitarios y su relación con la educación ambiental y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Posteriormente, se plantea el problema, la justificación del trabajo y los objetivos que orientan el estudio. La sección metodológica describe las acciones realizadas, que incluyen el análisis de actores clave, el diagnóstico de los residuos generados en la cafetería, el diseño de un protocolo técnico de compostaje adaptado al contexto institucional y el desarrollo de una estrategia participativa para el involucramiento comunitario. Finalmente, se presentan los resultados derivados de estas acciones, su análisis y las conclusiones generales del estudio.

Este estudio contribuye al fortalecimiento del programa de compostaje universitario y promueve una gestión ambiental circular, responsable y participativa, como estrategia sostenible de largo plazo en la UABC.

## 2 MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Antecedentes manejo de residuos sólidos urbanos

El interés en el manejo integral de los residuos sólidos urbanos ha aumentado significativamente en los últimos 20 años, convirtiéndose en un desafío global de gran magnitud (Esparza, 2021). Para iniciar el análisis de las estrategias de gestión ambiental en torno al manejo integral de residuos orgánicos desde una perspectiva socioambiental en entornos universitarios, es fundamental contar con información previa que sirva como punto de partida. En este apartado, se presentan artículos y tesis consultados para establecer una base sólida de conocimientos sobre las oportunidades y los desafíos del compostaje de residuos sólidos orgánicos.

Fernández *et al.* (2024), en una revisión sistemática de 13 estudios relacionados con el manejo integral de residuos sólidos en América Latina, señalaron que los modelos implementados son en su mayoría similares entre sí. A pesar de que ya se están llevando a cabo medidas para el manejo integral de residuos, aún persisten importantes desafíos, principalmente debido a las limitaciones presupuestarias y la falta de políticas ambientales locales que impulsen el desarrollo de planes efectivos. La investigación concluye que resulta fundamental avanzar hacia modelos que integran de manera equilibrada los enfoques socioeconómicos y ambientales.

El compostaje doméstico ha demostrado ser una estrategia efectiva para mitigar el impacto ambiental negativo asociado con la gestión de residuos en zonas urbanas. En el municipio de Malvinas Argentinas, provincia de Buenos Aires, Argentina, se evaluó esta práctica mediante un estudio que incluyó tres etapas: un análisis cualitativo del manejo de residuos sólidos urbanos (RSU), la simulación de escenarios alternativos de gestión y la evaluación de impactos mediante la ponderación de resultados. Los hallazgos evidenciaron que la implementación del compostaje doméstico contribuye a reducir significativamente los residuos enviados a vertederos, disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> y prolonga la vida útil de los rellenos sanitarios. Estos resultados refuerzan la importancia de incorporar el compostaje como parte integral de las estrategias de gestión de residuos municipales (Jantz y Ruggerio, 2021).

Además, la incorporación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) dentro de los campus universitarios ha demostrado ser una estrategia efectiva para promover la sostenibilidad institucional. En la Universidad de Sudáfrica (UNISA), por ejemplo, se ha logrado integrar los lineamientos de los ODS en las actividades académicas y en diversos proyectos universitarios, fortaleciendo no solo la educación de calidad (ODS 4), sino también acciones vinculadas al consumo responsable (ODS 12) y la mitigación del cambio climático (ODS 13), aspectos especialmente relevantes en proyectos de compostaje. Sin embargo, a pesar de estos avances, las universidades enfrentan retos comunes, entre ellos las limitaciones financieras y la baja participación de la comunidad universitaria en este tipo de iniciativas (Mawonde y Togo, 2019).

La caracterización de residuos sólidos en entornos universitarios ha demostrado ser un paso fundamental para conocer el tipo y la cantidad de residuos generados, información clave para el diseño e implementación de programas sostenibles de gestión de residuos. En el campus principal de la Universidad Imam Abdurrahman Bin Faisal (IAU), en Dammam, Arabia Saudita, un estudio realizado durante 2017-2018 evidenció que el 80% de los residuos generados son reciclables y el 19% son compostables. Estos resultados resaltan la importancia de una separación adecuada por tipo de residuo, ya que esta práctica facilita procesos posteriores como el reciclaje, el compostaje y la correcta disposición final. Contribuyendo a mejorar la eficiencia de la gestión de residuos y a reducir los impactos ambientales negativos asociados (Dahlawi y El Sharkawy, 2021).

El desarrollo de tecnologías locales de compostaje en universidades ha demostrado ser una estrategia eficaz para el manejo de residuos orgánicos generados en comedores institucionales. En la Universidad de La Coruña, España, se implementó un sistema adaptado a las necesidades logísticas, económicas y ambientales de la institución. El proyecto piloto se llevó a cabo en dos etapas: inicialmente se utilizó un compostador cerrado y dinámico, que permitió reducir significativamente el tiempo de maduración de la composta; posteriormente, se emplearon compostadores estáticos, con un tiempo de maduración aproximado de cuatro meses. En ambos casos, la calidad de la composta obtenida cumplió con los requisitos de la Clase A según la normativa española, equivalente a la calidad exigida para la agricultura orgánica. Este tipo de iniciativas no

solo permiten producir composta de alta calidad, sino que también contribuyen a reducir los impactos ambientales asociados con la gestión inadecuada de residuos. No obstante, su éxito depende del desarrollo de estrategias de implementación y operación ajustadas a las características específicas de cada universidad (Vázquez *et al.*, 2020).

En el contexto institucional, desde abril de 2018, la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) forma parte del programa Cero Residuos, como parte de las estrategias nacionales para enfrentar la problemática de los residuos sólidos urbanos (Moreno Rangel, 2018).

En octubre de 2022, la UABC Campus Ensenada adoptó en sus instalaciones la metodología del Programa Basura Cero (B0), iniciativa que forma parte de la estrategia transdisciplinaria de investigación y resolución en la problemática nacional de los residuos sólidos urbanos (PRONAI Residuos), aplicada en seis ciudades mexicanas. Este programa se enmarca en el Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia (PRONAI), desarrollado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por encargo del Estado (UABC, 2023). La metodología Basura Cero consiste en un modelo integral de gestión de residuos que busca minimizar la generación de desechos y reincorporar los materiales a los ciclos biológicos y productivos, mediante cuatro etapas operativas: separación en la fuente, recolección, acopio y transferencia para su aprovechamiento o disposición final controlada. En este esquema, los residuos orgánicos se destinan a procesos de compostaje y los materiales reciclables se canalizan a cadenas de reciclaje, enviando únicamente los no aprovechables a disposición final (Boletín La Escoba, 2022).

El Programa Cero Residuos del Campus Ensenada, junto con el Programa Basura Cero, buscan promover la gestión integral de los residuos generados en la universidad, con el propósito de proteger la salud humana y preservar el medio ambiente. Para lograrlo, ambos programas fomentan cambios en los hábitos cotidianos de la comunidad universitaria e integran procedimientos sistemáticos para el manejo eficiente y sostenible de los desechos (León y Moreno, 2024).

En 2023, como parte de la implementación de la metodología Basura Cero del PRONAI Residuos, se llevó a cabo un estudio sobre la generación de residuos sólidos urbanos en las unidades Punta Morro y Valle Dorado, realizado durante una semana con el objetivo de identificar, clasificar y cuantificar los distintos tipos de residuos generados. El estudio reveló que, semanalmente en los dos campus se generan 5.97 toneladas de residuos, de los cuales 4.17 toneladas (69.99%) son orgánicos, 0.64 toneladas (10.72%) son residuos valorizables y 1.11 toneladas (18.61%) son no valorizables (León y Moreno, 2024). Como resultado del diagnóstico de la generación de residuos en la universidad, se concluyó que la valorización y tratamiento de los residuos es económicamente viable, así como ambiental y tecnológicamente factible.

## **2.2 Antecedentes del Programa de Compostaje en la UABC**

Desde la introducción de la Especialidad en Gestión Ambiental en 2005 y la Licenciatura en Ciencias Ambientales en 2007 en la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) campus Ensenada, se han impulsado diversas iniciativas orientadas a la gestión sostenible de residuos y al fortalecimiento de prácticas ambientales dentro de la institución. Estas carreras han fomentado la realización de proyectos académicos y actividades relacionadas con la gestión de residuos orgánicos, incluyendo esfuerzos en compostaje.

En 2019, bajo la coordinación de la Dra. Mary Carmen Ruiz y como parte del proyecto “Compostaje universitario en campus Punta Morro”, desarrollado en la Facultad de Ciencias Marinas dentro de la asignatura “Taller de Ecotecnias” del programa educativo de Ciencias Ambientales, se implementó un programa piloto de recolección de residuos orgánicos en colaboración con la cafetería universitaria. Durante un periodo de cuatro meses, se recolectaron y procesaron residuos generados principalmente en las áreas de preparación de alimentos, incluyendo restos de verduras, frutas, cáscaras de huevo y residuos de café, logrando un volumen total de aproximadamente 60 kg. Sin embargo, la iniciativa enfrentó limitaciones operativas debido a una inadecuada separación en origen, ya que con frecuencia se mezclaban residuos cocinados con materia orgánica fresca, lo que comprometía la calidad del material para compostaje. Posteriormente, con la llegada

de la pandemia por COVID-19 y la suspensión de actividades presenciales, el programa fue interrumpido y no logró reactivarse en el corto plazo.

Durante el semestre 2023-2 se retomaron acciones orientadas a la reactivación del compostaje en el campus universitario. Como parte del Taller de Ecotecnias de la Facultad de Ciencias Marinas, a cargo de la Dra. Mary Carmen Ruíz, estudiantes del programa educativo de Ciencias Ambientales implementaron una actividad de compostaje educativo que incluyó la recolección de residuos orgánicos en el edificio de Vicerrectoría, con el apoyo de distintas áreas administrativas. Durante 11 semanas se recolectaron y procesaron aproximadamente 30 kg de residuos orgánicos, principalmente restos vegetales y residuos de café, logrando obtener 7 kg de composta al finalizar el proceso. Si bien generó un impacto positivo a corto plazo, la iniciativa no logró mantenerse en el tiempo ni trascender como una estrategia institucional consolidada.

Durante ese mismo año se iniciaron conversaciones con la nueva administración de la cafetería universitaria, entonces a cargo de la Facultad de Gastronomía y Enología, con el propósito de retomar la recolección de residuos orgánicos. Como parte de este acercamiento, se realizó la caracterización de residuos durante 5 días a cargo de la Dra. Adriana Puma (PRONACES-SECHITI , 2023). Se realizó un ejercicio de caracterización de residuos generados en la cafetería unidad punta morro (Figura 1), registrando un volumen total de 268.40 kg, de los cuales el 31% corresponde a residuos orgánicos compostables (Ruiz-de la Torre, comunicación personal, 23 de octubre de 2024). Sin embargo, a pesar del interés inicial, no se concretaron acuerdos para implementar un sistema adecuado de separación y recolección, lo cual impidió dar continuidad a la iniciativa.

Tipo de residuo	Peso (kg)				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Compostable	14.37146	13.396	18.032	13.796	24.024
Val-Papel y Cartón	2.952	3.7	1.7512	0.81	2.345
Val-Plástico val. #1	0.4986	0.2	1.076	0.172	0.45
Val-Plástico val. #2	0.0862	0.076	0.2169	0.02	0.108
Val-Plástico val. #3	0	0.186	0.166	0.002	0
Val-Plástico val. #4	0.136	0.676	1.23	0.994	1.29
Val-Plástico val. #5	0.144	0.038	0.222	0.076	0.27
Val-Plástico val. Elástico bolsas	0.1668	0.3	0	0	0
Val-Vidrio	0.468	0.394	0.57	0	1.38
Val-Metales-Fierro	0	0	0	0	0.052
Val-Metales-Latas de aluminio	0.132	0.068	0.1109	0.062	0.756
Val-Metales-Papel aluminio	0.082	0.11	0.0569	0.172	0.152
Val-Metales-Otros	0	0.576	0.028	0	0.328
Val-Ropa y textiles	0	0.01	0.006	0.0978	0.002
Val-Envases multicapa	0.592	1.524	1.104	0.582	1.718
No-Val papel sanitario	1.59	1	0.836	2.956	67.035
No-Val unicef	0.072	0.132	0.2009	0.124	0.132
No-Val bolsas y empaques	0.411	1.202	1.47	1.12	1.453
No-Val otros	1.4158	11.524	22.132	14.802	23.0811
Val-Metales	0.08	0	0	0	0
Val-Metales-Otros	0.016	0	0	0	0
Madera	0.012	0.052	0.016	0.0289	0.2769
Residuo fino	0	0	0.118	0	0
Biológico infeccioso	0.004	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>23.22986</b>	<b>35.164</b>	<b>49.3428</b>	<b>35.8147</b>	<b>124.853</b>
<b>Total compostable</b>	<b>14.37146</b>	<b>13.396</b>	<b>18.032</b>	<b>13.796</b>	<b>24.024</b>
<b>Total no valorizable</b>	<b>1.4158</b>	<b>11.524</b>	<b>22.132</b>	<b>14.802</b>	<b>23.0811</b>

Figura 1 Caracterización de residuos generados en la cafetería unidad Punta Morro, del 6 al 10 de marzo de 2023. Fuente: Comunicación personal, Ruiz-de la Torre, 23 de octubre de 2024.

A finales de octubre de 2024, con el cambio de administración de la cafetería, ahora operada por el concesionario *La Holandesa*, se sostuvo una reunión con el responsable del servicio, quien aceptó colaborar con la separación de residuos orgánicos. A partir de este acuerdo se dio inicio al presente proyecto, el cual incluye la caracterización de los residuos generados y el diseño de un protocolo de manejo mediante compostaje y vermicompostaje.

### 2.3 Marco conceptual

El marco conceptual del presente documento se elaboró a partir de una investigación en fuentes académicas, que incluyen artículos científicos, tesis y libros electrónicos. A través de la revisión y síntesis de estas fuentes, se identificaron conceptos y enfoques de diversos autores, los cuales sirvieron para establecer las bases sobre las que se desarrolla este trabajo.

### **2.3.1 Compostaje**

El compostaje es un proceso de degradación biológica, aerobia o anaerobia, mediante el cual la materia orgánica se transforma en un sustrato enriquecedor de suelos. Este proceso ocurre bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, favoreciendo la actividad de diversos microorganismos como bacterias y hongos, responsables de metabolizar la materia orgánica y producir un material estable de alta calidad biológica y química (Barrena y Sánchez, 2022; Bohórquez, 2019). Además de su función como técnica de tratamiento de residuos, el compostaje se reconoce como una estrategia de reciclaje y valorización de residuos orgánicos, orientada a reducir su disposición inadecuada y a generar un producto útil con menores costos operativos (Campitelli *et al.*, 2014). Este método también contribuye a mitigar la contaminación del suelo, de los acuíferos y de la atmósfera, al evitar que los residuos orgánicos lleguen a vertederos (Li *et al.*, 2013).

### **2.3.2 Vermicompostaje**

El vermicompostaje es una técnica biológica de manejo de residuos orgánicos que emplea la acción conjunta de lombrices de tierra y microorganismos para transformar los desechos en un abono orgánico de alta calidad. A diferencia del compostaje tradicional, este proceso ocurre bajo condiciones mesofílicas, a temperaturas moderadas, y no requiere un volteo mecánico constante, gracias al movimiento natural de las lombrices dentro del sustrato (Sharma y Garg, 2019). El producto final, conocido como vermicomposta o humus de lombriz, está compuesto principalmente por excrementos de lombriz y restos orgánicos parcialmente degradados, con alto contenido de nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal. Su aplicación mejora la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y estimula la actividad microbiana beneficiosa (Ramnarain *et al.*, 2019). Además de sus beneficios agronómicos, el vermicompostaje se reconoce como una alternativa sostenible para el tratamiento de residuos orgánicos, con la ventaja de reciclar nutrientes localmente, reducir el volumen de residuos enviados a vertederos y fortalecer la resiliencia agrícola, según lo establece el Manual de Compostaje del Agricultor de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013). Otra ventaja importante es la

generación de dos productos de valor: el humus de lombriz como acondicionador del suelo y las lombrices, que pueden destinarse a usos diversos como la acuicultura, la medicina o la producción de proteína para alimentación animal. Su implementación en espacios académicos, mediante estaciones experimentales, no solo permite el aprovechamiento de residuos, sino que también constituye una herramienta educativa para fortalecer la conciencia ambiental y promover la transición hacia modelos de gestión circular (Sharma y Garg, 2019).

### **2.3.3 Compostaje en universidades**

Varias universidades de todo el mundo han logrado implementar exitosamente modelos de compostaje dentro de sus instalaciones, se tienen registros desde inicios del 2000, lo que da la posibilidad de que incluso antes de esa fecha ya se estuvieran implementando. Muchas universidades han logrado poner en marcha sus programas de compostaje antes que las propias ciudades en las que están ubicadas (Smyth *et al.*, 2010).

Estas iniciativas, desarrolladas en Instituciones de Educación Superior (IES), generan beneficios económicos, sociales y ambientales. Por un lado, permiten reducir los costos asociados al manejo de residuos generados en áreas como jardines, cafeterías y oficinas; por otro, disminuyen el impacto negativo derivado de su disposición inadecuada. No obstante, para que estos proyectos sean sostenibles, es fundamental la participación de la comunidad universitaria, especialmente en la correcta separación de los residuos (Al *et al.*, 2022).

En América Latina, se han documentado diversas experiencias que refuerzan el potencial de las universidades como espacios de gestión de residuos orgánicos y de innovación técnica. Por ejemplo, en la Universidad de Piura, Perú, se desarrolló un modelo de compostaje aeróbico como alternativa a la quema de residuos vegetales generados en el campus, incorporando restos de poda, hojas secas y estiércol vacuno, además de aplicar microorganismos eficaces (EM) para acelerar el proceso. El proyecto se destacó por integrar prácticas de monitoreo fisicoquímicas y microbiológicas, lo que permitió obtener composta de buena calidad (Mendoza, 2012).

Otro caso relevante es el de la Universidad Autónoma de Occidente, en Colombia, que desarrolló un sistema de vermicompostaje con precompostaje para procesar residuos vegetales generados en cafeterías del campus. A través de ajustes en humedad, aireación y relación C/N, se mejoró la eficiencia del sistema y se logró cumplir con la Norma técnica colombiana 5167 (López y Tello, 2025).

Además, en el laboratorio EcoLab de esa misma universidad, se llevó a cabo un ensayo experimental con la inoculación de posos de café utilizando el hongo lignolítico *Volvariella volvacea*, lo que aceleró la descomposición de celulosa y aumentó la disponibilidad de nutrientes. El tratamiento fúngico generó más del doble de composta que el control, evidenciando un mejor aprovechamiento de los residuos (Cantillo Ospina y Carvajal Castrillón, 2024).

Estas experiencias desarrolladas en universidades latinoamericanas no solo validan la viabilidad técnica del compostaje institucional, sino que también resaltan su potencial como herramienta educativa y de transformación social dentro del campus, con estrategias participativas que fomenten la educación ambiental y la corresponsabilidad de la comunidad universitaria en la gestión de sus residuos orgánicos.

#### **2.3.4 Educación ambiental en universidades**

Durante este último siglo, el cuidado del medio ambiente ha tomado relevancia, sin embargo, solo un pequeño porcentaje de la sociedad se ha interesada en desarrollar y promover acciones, procesos y tecnologías que ayuden a preservar el medio ambiente. A raíz de esto, surge la educación ambiental, con el fin de concientizar a la sociedad sobre la importancia de cuidar el planeta que habitamos (Restrepo *et al.*, 2020).

De León *et al.* (2019) han definido a la educación ambiental como un proceso por el cual se adquieren valores y se fortalecen conceptos, con el fin de desarrollar cualidades y capacidades necesarias para comprender y apreciar la relación existente entre el ser humano, las prácticas culturales y el entorno que lo rodea. Así que, las personas con esta perspectiva sean capaces de influir positivamente en la sociedad y con ello, contribuir a un desarrollo sustentable.

En el entorno universitario, la educación ambiental se posiciona como un eje clave para promover transformaciones prácticas y culturales. Diversos estudios han demostrado que el éxito de los sistemas de compostaje en instituciones educativas no depende únicamente de aspectos técnicos, sino también de la disposición, el conocimiento y la participación de quienes generan los residuos (Cantillo Ospina y Carvajal Castrillón, 2024).

En el caso particular de esta investigación, se reconoce la educación ambiental como un eje fundamental para el diseño e implementación del protocolo institucional de compostaje. La sensibilización y el involucramiento de la comunidad universitaria son fundamentales para garantizar el éxito de la propuesta, así como para promover una cultura ambiental dentro del campus.

### **2.3.5 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y su relación con el compostaje**

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en septiembre de 2015, establece un plan de acción global enfocado en el bienestar social, la prosperidad económica y la protección ambiental. Esta agenda define 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas específicas, que abordan de manera integral las dimensiones social, económica y ambiental del desarrollo global (Naciones Unidas, 2015).

La implementación de un programa de compostaje de residuos orgánicos en el campus universitario contribuye directamente al cumplimiento de varios de estos objetivos. En particular, se vincula con el ODS 11, que busca lograr ciudades y comunidades sostenibles. La meta 11.6 promueve la reducción del impacto ambiental negativo de las ciudades, con énfasis en la mejora de la gestión de residuos. El compostaje reduce la cantidad de desechos orgánicos enviados a vertederos y genera un fertilizante natural que puede ser aprovechado en áreas verdes del campus, fomentando prácticas de manejo sostenible.

También guarda relación con el ODS 12, orientado a garantizar modalidades sostenibles de consumo y producción. La meta 12.5 impulsa la reducción de residuos mediante

prevención, reciclaje y reutilización. En este sentido, el programa de compostaje universitario representa una estrategia efectiva para disminuir la generación de desechos orgánicos y fortalecer la educación ambiental dentro de la comunidad universitaria.

Finalmente, el proyecto contribuye al ODS 13, que promueve acciones urgentes para combatir el cambio climático. La disminución de residuos enviados a disposición final permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al transporte y a la descomposición anaerobia en vertederos. Con ello, el compostaje se consolida como una medida de mitigación climática a nivel institucional.

### **3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVO**

#### **3.1 Planteamiento del problema.**

Según el informe “Perspectiva mundial de la gestión de residuos 2024” se prevé que la generación de residuos sólidos urbanos aumente de 2.300 millones de toneladas en 2023 a 3.800 millones de toneladas en 2050 (UNEP, 2024). El informe destaca los graves problemas ocasionados por las malas prácticas de manejo integral de los residuos sólidos urbanos, mencionando problemas de contaminación, insalubridad y cambio climático. La gestión de residuos sólidos urbanos se ha convertido en uno de los desafíos ambientales de nuestra época, afectando no solo al medio ambiente, sino también a lo social y económico.

En los municipios de América latina y el Caribe, a nivel del conjunto de la región se estima que generan 1kg/habitante/día de residuos sólidos urbanos, el 81% de los municipios reporta valores de recolección superiores al 60% (ONU medio ambiente, 2018). Sin embargo, de acuerdo con el análisis de los datos presentados en la “Consulta municipal sobre gestión sostenible de residuos y necesidades de formación en América Latina y el Caribe” realizada en 2023, la mitad de los municipios recupera o recicla menos del 10% de los residuos generados, de los cuales el 27.1% es aprovechado para la producción de composta.

En 2018, se publicó el informe “Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe”, donde señala que los residuos orgánicos son los que más se generan y los que menos se gestionan, el 50% de los residuos generados son orgánicos y el 90% de los residuos generados no es aprovechado. La inadecuada gestión de los residuos genera emisiones de gases de efecto invernadero, lixiviados, además de dificultar el reciclaje del resto de residuos sólidos urbanos. Algunos de los hallazgos encontrados en el informe están relacionados con: Situación regional, Gobernanza y financiación, donde se destacan aspectos como la cobertura de recolección mejorada pero insuficiente, la fracción orgánica predomina en la composición de los residuos, retos en la institucionalidad y aplicación de la legislación, limitada participación ciudadana, educación ambiental y comunicación, entre otras (ONU medio ambiente, 2018).

Una de las problemáticas socioambientales más relevantes en México es la gestión integral de residuos. Aprovechar los residuos sólidos urbanos (RSU) en el contexto actual del país representa un verdadero reto. Aproximadamente, solo el 5% del total de los residuos recolectados se separa de manera adecuada, orgánicos e inorgánicos (DBGIR, 2020). Cada mexicano genera, en promedio, 0.944 kg de residuos sólidos urbanos al día, lo que da como resultado una generación total estimada de 120,128 toneladas diarias. De esta cantidad, el 46.42% corresponde a residuos orgánicos (SEMARNAT, 2017). Los retos que se presentan en el país en el tema de gestión de residuos orgánicos están vinculados al cumplimiento y aplicación de las leyes y políticas, ya que son poco constantes o incluso nulas, se requiere de voluntad política y coordinación entre distintas entidades, además de iniciativas de educación pública para lograr un avance en el tema de la gestión integral de residuos sólidos urbanos (Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), 2017).

En el estado de Baja California, el sistema de recolección de residuos es insuficiente y carece de un proceso adecuado para la separación de residuos orgánicos e inorgánicos. Aunque existen algunas empresas privadas que ofrecen servicios de recolección de residuos orgánicos con el objetivo de destinarlos al compostaje, no se ha logrado implementar un sistema integral que garantice la correcta clasificación y disposición de los desechos en toda la región (SEMARNAT, 2020).

A nivel universitario, en el Campus Ensenada de la UABC, unidad Punta Morro, se generan residuos orgánicos de forma constante, principalmente en la cafetería universitaria y áreas verdes., a pesar de diversos esfuerzos previos orientados al compostaje, estos no han derivado en un sistema consolidado ni sostenido institucionalmente. Actualmente no existe un programa estructurado de compostaje para gestionar los residuos orgánicos generados. Es decir, los residuos orgánicos que genera la propia comunidad universitaria terminan con una disposición inadecuada, contribuyendo a la contaminación del suelo y al cambio climático.

Las causas que impiden la implementación efectiva del programa de compostaje universitario están estrechamente relacionadas con la falta de infraestructura adecuada, que dificulta la separación y el procesamiento de los residuos orgánicos. Además, existe

una limitada sensibilización dentro de la comunidad universitaria sobre la importancia de adoptar prácticas sostenibles, como la separación y el compostaje de los desechos orgánicos. A esto se suma la ausencia de un sistema de seguimiento y evaluación que permita medir el impacto de la iniciativa, lo que reduce las posibilidades de ajustar y mejorar el programa a medida que se desarrollan nuevos desafíos y oportunidades en la universidad.

La inadecuada continuidad en implementación del programa de compostaje universitario impide su evolución, lo que dificulta su adaptación a las necesidades de la universidad. Como resultado, no se logra generar un cambio en los hábitos de la comunidad universitaria. La falta de proyectos integradores en el manejo adecuado de residuos fomenta la baja participación en iniciativas ambientales, lo que dificulta la adopción de una cultura de cero residuos dentro del campus universitario. Esta situación no solo limita el compromiso de la comunidad universitaria, sino que también priva a la UABC de la oportunidad de generar un impacto social positivo, especialmente considerando la gran cantidad de visitantes que recibe la institución, quienes podrían ser sensibilizados sobre la importancia de prácticas sostenibles.

Este estudio busca abordar esta brecha, analizando las estrategias posibles para implementar un programa de compostaje efectivo en la universidad, identificando los factores clave para superar los obstáculos actuales y explorar las oportunidades para mejorar el manejo de residuos orgánicos en el campus.

### 3.2 Justificación

La Universidad Autónoma de Baja California (UABC) ha adoptado el Programa Cero Residuos con la finalidad de valorizar al menos el 90 % de los residuos generados por la comunidad universitaria, promoviendo su reducción, reúso, reciclaje y compostaje, y destinando solo un 10 % a disposición final. En el Campus Ensenada, esta iniciativa fue adoptada formalmente en abril de 2018, marcando el inicio de una estrategia institucional orientada a fortalecer la sostenibilidad ambiental en los espacios universitarios (Moreno Rangel, 2018). Esta estrategia se fortaleció en octubre 2022 con la adopción de la Metodología Nacional Basura Cero impulsada por el CONAHCYT, con la cual se busca avanzar hacia una gestión integral y sostenible de los residuos sólidos universitarios (León y Moreno, 2024).

Sin embargo, a pesar de que la metodología nacional “Basura Cero” del CONAHCYT ha sido implementada formalmente en el campus, los esfuerzos realizados hasta ahora no han logrado consolidarse en un programa de compostaje estructurado y permanente. Actualmente, los residuos orgánicos generados especialmente por la cafetería universitaria continúan siendo tratados sin un proceso de separación y valorización que permita transformarlos en recursos útiles para la universidad.

En este contexto, se propone el diseño de un programa de compostaje universitario enfocado en los residuos generados por la cafetería *La Holandesa* y una fracción de los residuos de poda de césped, con el fin de contribuir al cumplimiento de los lineamientos institucionales del Programa Cero Residuos. Esta propuesta no solo busca aportar una solución técnica para el tratamiento de residuos orgánicos, sino que también incorpora un componente educativo, orientado a sensibilizar a la comunidad universitaria sobre la importancia de la correcta separación de residuos y fomentar una cultura de corresponsabilidad ambiental.

Con ello, se busca sentar las bases para una gestión más circular de los residuos orgánicos en el campus, transformándolos en un biofertilizante de alta calidad con potencial de aplicación en áreas verdes institucionales, proyectos de restauración ecológica y prácticas académicas. Esta iniciativa permitirá demostrar que es posible

impulsar acciones concretas desde el entorno universitario, con impacto ambiental, educativo y social.

### 3.3 Objetivos

Objetivo general:

Proponer un programa de compostaje universitario basado en compostaje tradicional y en vermicompostaje continuo con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), que permita valorizar los residuos orgánicos generados en la cafetería de la Unidad Punta Morro de la UABC. Este programa deberá ser técnica y socialmente viable, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el programa institucional Cero Residuos y los lineamientos institucionales.

Objetivos específicos:

1. Diagnosticar y caracterizar la generación de residuos orgánicos en la cafetería del campus, a partir del análisis de datos reales recolectados durante 5 meses, de modo que se identifiquen la cantidad, la composición y los picos de generación de cada tipo de residuo.
2. Diseñar el protocolo de compostaje que incluya las etapas de separación, recolección, precompostaje y la transferencia del sustrato precompostado a las lombrices, estableciendo procedimientos detallados y criterios de monitoreo que permitan garantizar la eficiencia del proceso propuesto.
3. Diseñar una propuesta de estrategia participativa que contribuya a la futura implementación y sostenibilidad del programa de compostaje universitario, con el propósito de sensibilizar al personal de la cafetería y a la comunidad universitaria sobre la importancia del compostaje, la correcta separación de residuos y su impacto positivo en la sostenibilidad, en alineación con el programa Cero Residuos y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

## 4 MARCO METODOLÓGICO

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, con componentes cuantitativos y cualitativos, y se enmarca en un diseño descriptivo, según la clasificación propuesta por Hernández-Sampieri *et al.* (2014). Esta metodología permitió caracterizar la generación de residuos orgánicos en la cafetería del campus universitario, Unidad Punta Morro, y constituyó la base para proponer un programa de compostaje universitario, que integra compostaje tradicional y vermicompostaje, como estrategia principal para el manejo y valorización de dichos residuos.

El estudio se estructuró en tres fases:

**Fase I. Diagnóstico técnico y social para el diseño del protocolo de compostaje**, que incluyó: El análisis prospectivo de los actores clave involucrados en la gestión de residuos. El diagnóstico del sitio actual de compostaje dentro del campus. La caracterización cuantitativa y cualitativa de los residuos orgánicos generados en la cafetería *La Holandesa*, a partir de datos recolectados entre noviembre de 2024 y mayo de 2025.

Como primer paso del diagnóstico, se realizó un análisis prospectivo de los actores clave involucrados en la gestión de residuos dentro del campus universitario. El objetivo de este análisis fue anticipar posibles dinámicas de participación, colaboración, oportunidades o barreras que pudieran influir en la implementación sostenible del protocolo técnico propuesto. La metodología empleada se basó en el enfoque de análisis de partes interesadas (*stakeholder analysis*), utilizando la matriz de influencia e interés como herramienta para posicionar a cada actor en función de su nivel de interés y capacidad de influencia sobre el proyecto (Bryson, 2004).

El diagnóstico del sitio se realizó durante noviembre y diciembre de 2024, mediante visitas al lugar, observación directa y entrevistas informales con el docente responsable de la asignatura de Ecotecnias. El objetivo fue identificar las condiciones actuales y los

recursos materiales y operativos disponibles para evaluar la viabilidad y determinar los requerimientos de adecuación del sitio.

La caracterización de los residuos orgánicos generados en la cafetería se llevó a cabo durante cinco meses, de noviembre de 2024 a mayo de 2025, con recolecciones periódicas dos o tres veces por semana. Para facilitar esta caracterización, se implementó un sistema de separación en origen mediante la entrega de tres cubetas de 20 litros, etiquetadas para restos de frutas y verduras, residuos de café y cáscaras de huevo (Figura 2.a).



*Figura 2. a) cubetas con residuos orgánicos recolectados durante la etapa de caracterización y b) báscula digital utilizada para pesar cada cubeta.*

Para garantizar la continuidad del muestreo sin interrupciones, se estableció un sistema de intercambio: en cada visita, se retiraban las cubetas con residuos orgánicos y se reemplazaban por un nuevo set limpio y etiquetado, asegurando que siempre hubiera recipientes disponibles para la recolección. Además, el personal de la cafetería recibió capacitación previa para asegurar la correcta separación de los residuos, optimizando así el proceso de clasificación y análisis.

Cada recolección se registró con fecha, tipo y peso de los residuos, utilizando una báscula de mano digital (Figura 2.b). El registro se realizó con los residuos frescos, restando previamente el peso de las cubetas vacías. Los datos fueron organizados en una hoja de cálculo Excel para facilitar su análisis. Esto permitió identificar patrones de generación, variabilidad por tipo de residuo, y picos de generación.

La información obtenida se utilizó para calcular la cantidad promedio de residuos generados semanal y mensualmente. Este análisis permitió dimensionar el sistema de vermicompostaje que se propondrá en etapas posteriores, asegurando que su diseño responda a las necesidades reales de gestión de residuos. Además, la caracterización facilitó la identificación de requerimientos logísticos clave, como la recolección, el almacenamiento temporal y el transporte de los residuos hasta el sitio de compostaje.

Durante esta etapa se identificó además la disponibilidad de residuos de poda, principalmente césped proveniente del mantenimiento de áreas verdes del campus, los cuales fueron recolectados y secados a cielo abierto cerca de la zona de compostaje. Dada su disponibilidad a lo largo de todo el año, estos residuos se consideraron como fuente potencial de material rico en carbono para el sistema de vermicompostaje.

Debido a la variabilidad en la frecuencia de corte y volumen producido de césped, no se realizó una cuantificación completa, sino que se optó por estimar el volumen necesario de acuerdo con la cantidad de residuos orgánicos recolectados semanalmente.

**Fase II. Diseño del protocolo técnico de compostaje continuo**, el cual considera tanto el compostaje tradicional como el uso de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), incluyendo el dimensionamiento del sistema y la definición de las etapas del proceso.

Con base en la caracterización previa de los residuos y una revisión bibliográfica especializada en compostaje y vermicompostaje a pequeña escala y entornos institucionales se diseñó el protocolo de compostaje, incluyendo el vermicompostaje utilizando lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), reconocida por su alta eficiencia en la degradación de materia orgánica y su fácil adaptación a diversos sustratos (Sharma y Garg, 2019). El diseño contempló la infraestructura disponible para el vermicompostaje, así como el aprovechamiento de restos de poda de césped provenientes del mantenimiento de las áreas verdes, con el objetivo de contar con una fuente constante de material rico en carbono.

Con el objetivo de sustentar técnicamente el diseño del protocolo de compostaje se realizó una revisión y análisis de literatura académica y técnica, enfocada en identificar

los parámetros operativos clave de este proceso. Se consultaron artículos científicos, tesis académicas y manuales técnicos a través de Google Académico, Redalyc, SciELO, repositorios institucionales universitarios, EbscoHost y ScienceDirect.

Entre las principales palabras clave utilizadas se encuentran:

- Compostaje
- Vermicompostaje
- Lombricomposta
- Parámetros técnicos del vermicompostaje
- *Eisenia foetida*
- Proceso de precompostaje
- Compostaje de césped

Los hallazgos de esta revisión permitieron establecer criterios técnicos para el manejo adecuado de los residuos orgánicos generados en la cafetería del campus. Estos elementos fueron clave para estructurar las etapas del protocolo y definir las variables que habrán de monitorearse durante la futura implementación del sistema de compostaje.

El uso de lombrices en el proceso de compostaje ha demostrado ser una estrategia eficaz para la gestión de residuos orgánicos y el desarrollo de prácticas sustentables. Según Ruiz y Acevedo (2011), una estación experimental de vermicompostaje puede servir como herramienta educativa para ilustrar temas de manejo de residuos, biología, eficiencia y productividad, promoviendo en los estudiantes una mayor conciencia ambiental. Así mismo, Sharma y Garg (2019) destacan que el vermicompostaje no solo es una alternativa ecológica, sino que también ofrece ventajas económicas al reducir costos en comparación con otros métodos tradicionales de tratamiento de desechos y su implementación en espacios académicos fomenta el aprendizaje práctico, la investigación aplicada y la transición hacia una gestión ambiental más circular.

Las condiciones óptimas para el funcionamiento del sistema se presentan en la Tabla

1.

**Tabla 1**

*Intervalo óptimo de parámetros en el proceso de vermicompostaje*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor óptimo</b>
Humedad	70-80%
Temperatura	20-30°C
pH	5.0-8.5

**Fuente:** Datos adaptados FAO (2013).

La relación C/N influye en la calidad del humus y en la eficiencia del proceso de descomposición de los residuos orgánicos, la relación C/N óptima para el proceso de vermicompostaje debe estar alrededor de 30:1 (Sharma y Garg, 2019). En la práctica, para alcanzar la relación C/N deseada, se suele combinar tres partes de material seco, rico en carbono, con una parte de material fresco, rico en nitrógeno (Suárez Bordón, 2012).

Por otra parte, estudios han demostrado que el precompostaje es una etapa clave en el proceso de vermicompostaje, López y Tello (2025), en su investigación realizada en la Universidad Autónoma de Occidente destacan que el precompostaje de 2 semanas favorece la reproducción de *Eisenia foetida*, ya que permite la estabilización inicial de la materia orgánica, mejorando sus condiciones para la acción de las lombrices y microorganismos involucrados en la descomposición. Además, este proceso contribuye a la eliminación de patógenos, la reducción de compuestos fitotóxicos y la mejora en la disponibilidad de carbono y nitrógeno (Acosta-Durán *et al.* 2013).

### **Fase III. Elaboración de una propuesta de estrategia participativa para la implementación y sostenibilidad del programa.**

Esta fase consiste en diseñar una estrategia participativa orientada a sensibilizar, capacitar e involucrar al personal de la cafetería y a la comunidad universitaria, con el fin de asegurar que el protocolo propuesto sea factible, replicable y sostenible a largo plazo.

Para ello, se estructuró una estrategia de comunicación y educación ambiental basada en objetivos SMART (Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Time-bound), metodología propuesta por George T. Doran en 1981, que facilita el establecimiento de metas claras, su implementación futura y la evaluación de resultados.

Como parte del diseño de esta estrategia, se consideran las conclusiones obtenidas del análisis previo de actores clave, y se incluyen las siguientes acciones metodológicas:

- Selección de canales de comunicación pertinentes (presenciales y digitales).

Aunque la estrategia diseñada no será implementada directamente durante el desarrollo del presente trabajo, su diseño se concibe como una herramienta aplicable por la Coordinación del proyecto, así como por estudiantes que se integren al programa mediante prácticas profesionales, servicio social o iniciativas de continuidad institucional.

Para facilitar la comprensión del enfoque metodológico empleado en el presente trabajo, en la Figura 3, se presenta un diagrama de flujo que resume las principales fases y actividades desarrolladas.

## METODOLOGÍA APLICADA PARA EL DISEÑO DEL PROTOCOLO DE COMPOSTAJE INSTITUCIONAL



Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología empleada para el diseño e implementación del sistema de compostaje.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Análisis prospectivo de actores clave

La identificación de los actores se llevó a cabo mediante observación directa, conversaciones informales y revisión de la estructura administrativa del campus. Los resultados de este análisis se presentan en la Tabla 2. Además de los actores inicialmente detectados, se incluyeron aquellos que podrían mostrar resistencia o preocupación ante la implementación del sistema de compostaje, como el personal de limpieza de la cafetería y los jardineros, quienes podrían percibir un incremento en su carga laboral, así como algunos miembros de la comunidad universitaria con inquietudes respecto a posibles problemas de olores o manejo inadecuado de residuos.

Una vez realizado este análisis, se procedió a la caracterización física y cuantitativa de los residuos orgánicos generados en la cafetería, con el propósito de dimensionar el sistema y definir los requerimientos técnicos del protocolo.

**Tabla 2**

*Análisis prospectivo de actores clave para la implementación del programa de compostaje universitario, según su rol, nivel de interés e influencia.*

<b>Actor</b>	<b>Rol en el sistema propuesto</b>	<b>Nivel de interés</b>	<b>Nivel de influencia</b>
Personal administrativo de cafetería	Gestiona la comunicación y colaboración	Medio	Alto
Personal de cocina	Separación de residuos orgánicos	Medio	Alto
Jardineros del campus	Proveedores de césped	Bajo	Alto
Comunidad estudiantil	Participación en el proyecto	Medio	Alto

Coordinación del proyecto	Supervisión y logística	Alto	Medio
Departamento de planeación y proyectos del campus	Alineación de proyectos con objetivos de sustentabilidad universitaria	Alto	Alto
Vicerrectoría del campus	Aprobación institucional	Medio	Medio

Como herramienta complementaria, se utilizó la matriz de influencia-interés propuesta por Mendelow (1991), que permite representar de forma visual a los actores clave en función de su nivel de interés en el proyecto y su capacidad de influencia sobre su implementación. Esta matriz proporciona una base estratégica para definir acciones diferenciadas de comunicación, capacitación y participación, las cuales están contempladas como parte de la fase 3 del protocolo. El objetivo es fortalecer el compromiso de los actores clave y reducir posibles barreras operativas y sociales que puedan surgir durante la futura implementación del sistema de compostaje universitario (Figura 4).

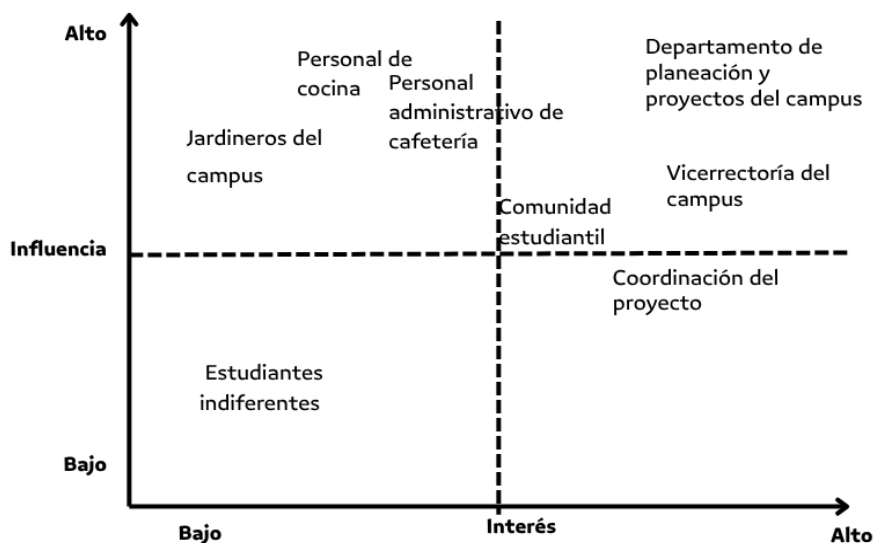


Figura 4. Matriz de análisis de actores clave según su nivel de influencia e interés en la implementación del protocolo de vermicompostaje institucional. Adaptado de Mendelow (1991).

## 5.2 Resultados del diagnóstico del sitio actual de compostaje

Actualmente, el área de compostaje es utilizada por estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Ambientales como parte de las actividades prácticas de dicha materia, donde los alumnos gestionan residuos orgánicos recolectados por ellos mismos. Los aspectos evaluados durante el diagnóstico fueron los siguientes:

- a. Ubicación y accesibilidad: El área de compostaje se localiza a aproximadamente 254 metros de la cafetería, siguiendo una ruta adecuada para el traslado de residuos orgánicos, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Ubicación y ruta de traslado de residuos orgánicos entre la cafetería La Holandesa y el sitio actual de compostaje en la Unidad Punta Morro (UABC).

- b. Infraestructura disponible y dimensiones del sitio:

El sitio tiene una superficie aproximada de 91.4 m<sup>2</sup> (23.14 m x 3.95 m), delimitado por muros de barro y parcialmente cubierto con un techo de lámina que proporciona protección contra la lluvia. Una sección adicional cuenta con estructura metálica y

malla sombra, lo que favorece condiciones óptimas de ventilación y control de temperatura, necesarias para el proceso de vermicompostaje. El piso de tierra facilita el drenaje natural de lixiviados y el área es accesible para la operación de todas las etapas del proceso. La distribución del espacio se presenta en la Figura 6.

### Taller de Ecotecnia – Facultad de Ciencias Marinas



### Área de Compostaje

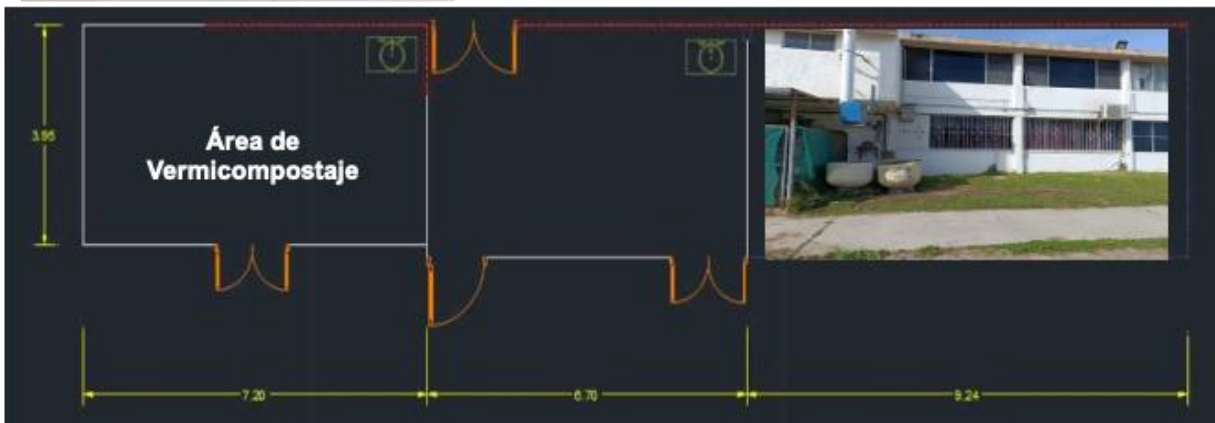


Figura 6. Distribución del espacio disponible para el compostaje universitario, ubicado en el taller de Ecotecnias, en la Facultad de Ciencias Marinas, UABC.

### c. Recursos materiales disponibles

Contenedores (ver Figura 7):

- Tres cajas de plástico con capacidad aproximada de 102 litros cada una.
- Cuatro contenedores reutilizados de 200 litros de capacidad (67.31 cm de diámetro por 55.88 cm de altura), destinados a ser acondicionados como contenedores de precompostaje.



*Figura 7. a) Caja de plástico utilizada para vermicompostaje y b) Contenedores utilizados para el compostaje tradicional.*

#### Herramientas y equipo:

- Palas manuales para el manejo de sustratos (Figura 8).
- Dos juegos de tres cubetas de 20 litros para recolección y transporte de residuos (Figura 9).
- Criba para tamizado (Figura 8).
- Guantes de protección, báscula digital y termómetro de acero inoxidable para control de parámetros (Figura 10).
- Cepillos y jabón biodegradable, para limpieza de herramientas y recipientes (Figura 11).



*Figura 8. Herramienta utilizada durante el proceso de compostaje.*



*Figura 9. Cubetas utilizadas para la recolección de residuos orgánicos generados por la cafetería*



*Figura 10. Equipo utilizado para el control de parámetros en el sistema de compostaje: báscula digital y termómetro de acero inoxidable.*



*Figura 11. Materiales de limpieza utilizados: cepillos, trapos y jabón biodegradable.*

Servicios disponibles:

- Acceso a agua.
- Conexión a luz eléctrica

Material biológico:

Población establecida de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), en proceso de crecimiento activo dentro de la vermicompostera piloto (Figura 12).



Figura 12. Cajas de vermicomposta: a) Población activa de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). b) Residuos orgánicos parcialmente degradados con apariencia granular.

#### d. Actividades actuales en el sitio

El área ha sido utilizada como espacio de aprendizaje práctico durante la asignatura de Ecotecnias. Si bien se han procesado residuos orgánicos, las actividades realizadas no han seguido un protocolo sistemático y las zonas específicas para cada etapa del proceso aún no han sido formalmente definidas. Esta situación será atendida en el diseño del protocolo propuesto en el presente trabajo.

### 5.3 Caracterización de los residuos orgánicos generados en cafetería

Durante el periodo comprendido entre noviembre de 2024 y mayo de 2025, se realizó la caracterización de los residuos orgánicos generados en la cafetería del campus universitario, con el objetivo de obtener datos cuantitativos y cualitativos que sirvieran como base para el diseño del protocolo de compostaje universitario. Durante este periodo

se recolectó un total de 776.19 kg. En la Tabla 3 se presenta el desglose mensual del peso de residuos por tipo, junto con el total mensual, el número de días en que la cafetería estuvo operando y el promedio diario estimado de generación de residuos.

Durante diciembre de 2024 y enero de 2025, la actividad académica disminuyó debido al periodo vacacional, hasta cesar por completo. Como resultado, en diciembre solo hubo recolecciones durante la primera semana, mientras que en enero únicamente se registraron en la última semana. Aun así, estos datos fueron incorporados para mantener la continuidad del registro mensual.

**Tabla 3**

*Peso total mensual por tipo de residuo, total mensual, días de operación y promedio diario de residuos orgánicos recolectados en la cafetería universitaria (noviembre 2024 – mayo 2025). Elaboración propia.*

Mes	Fruta y verdura (kg)	Café (kg)	Cáscara		Total/mes (kg)	Días de operación	Promedio diario (kg)
			de huevo (kg)				
Noviembre	62.19	84.24	10.83		157.26	21	7.488
Diciembre	4.48	13.74	0.44		18.66	5	3.73
Enero	7.00	13.74	0.00		20.74	5	4.18
Febrero	56.55	77.94	8.91		143.40	20	7.17
Marzo	51.57	61.24	6.79		119.60	20	5.98
Abril	89.03	45.07	4.60		138.70	17	8.15
Mayo	105.94	63.44	8.45		177.83	22	8.08
Total/tipo (kg)	376.76	359.41	40.02		776.19	-	-
Promedio							<b>7.37</b>

Con el fin de estimar la generación promedio diaria de residuos orgánicos en condiciones operativas habituales, se realizó un cálculo con base en el peso total recolectado por

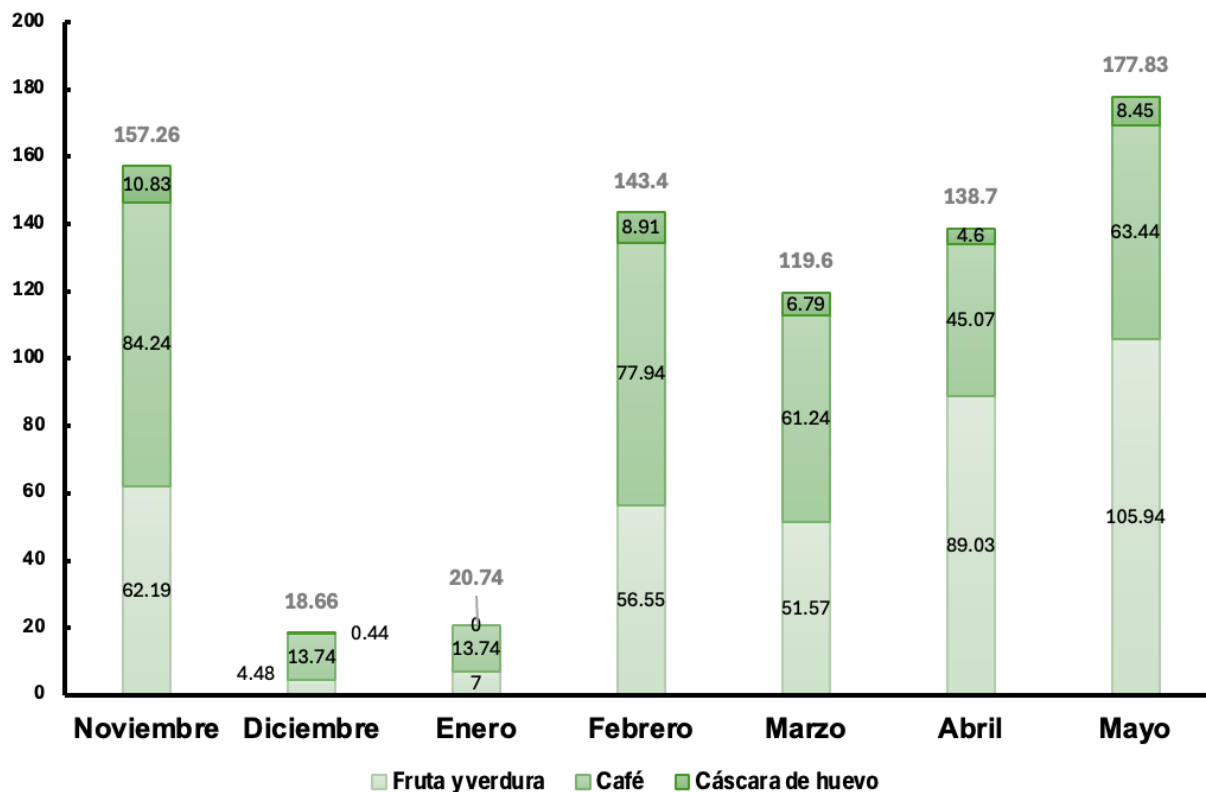
mes y el número estimado de días en que la cafetería universitaria estuvo en funcionamiento. Para este análisis se consideraron únicamente los meses con actividad regular (noviembre de 2024 y febrero a mayo de 2025), excluyendo diciembre y enero debido a la suspensión parcial de actividades por el periodo vacacional.

El promedio general obtenido para el periodo analizado fue de 7.37 kg/día, el pico máximo se registró en el mes de abril con un valor de 8.15 kg/día, mientras que en el mes de marzo se registró el mínimo (5.98 kg/día), lo cual proporciona una base sólida para estimar la carga diaria del sistema de compostaje y planificar su operación de manera continua.

La Figura 13 presenta la distribución mensual del peso total de residuos orgánicos recolectados, diferenciados por tipo de residuo. Se observa una variación significativa en la cantidad recolectada mes a mes. Los meses de febrero y abril registraron valores más cercanos entre sí (143.4 kg y 138.7 kg, respectivamente), mientras que el resto mostró fluctuaciones más marcadas.

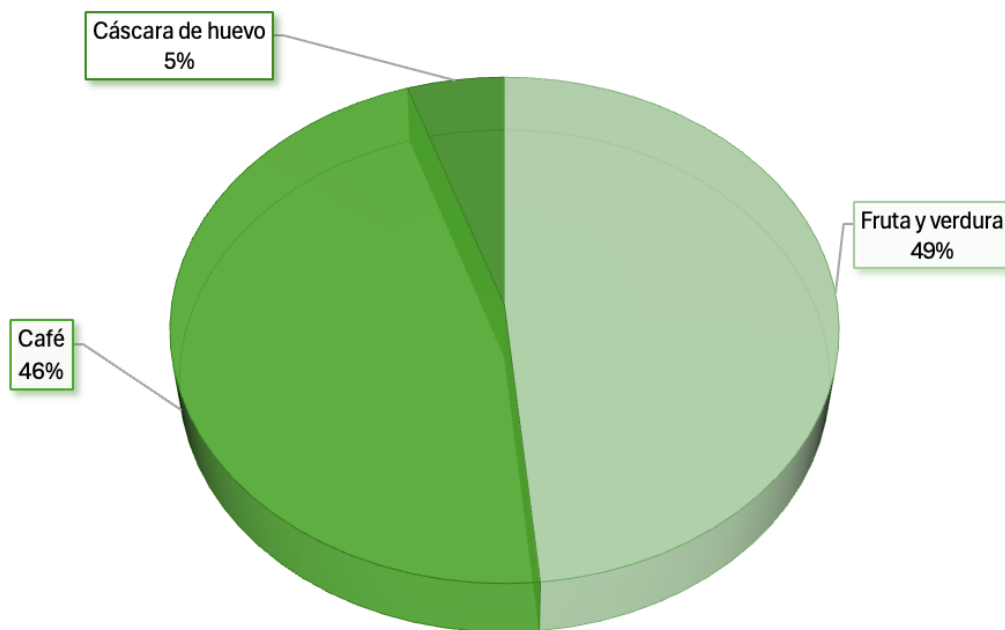
Marzo fue el mes con la menor cantidad recolectada, con un total de 119.6 kg, mientras que mayo alcanzó el valor máximo con 177.83 kg, lo que representa un incremento de 58.23 kg respecto al mes con menor generación.

En diciembre de 2024 y enero de 2025, los valores fueron considerablemente más bajos debido a que solo se realizaron jornadas de recolección durante la primera y última semana, respectivamente, por el periodo vacacional.



*Figura 13. Distribución mensual de residuos orgánicos. Nota: Diciembre y enero presentan valores parciales por suspensión de actividades. Elaboración propia.*

La Figura 14 muestra la composición porcentual acumulada de los residuos orgánicos recolectados en la cafetería universitaria durante el periodo de caracterización. La fracción dominante fue la de residuos de fruta y verdura, con un 49% del total, seguida por los residuos de café con 46% y las cáscaras de huevo en menor porcentaje (5%).



*Figura 14.* Composición porcentual de residuos orgánicos recolectados entre noviembre 2024 y mayo 2025. Elaboración propia

En la Figura 15 se comparan las composiciones porcentuales de residuos orgánicos recolectados en noviembre de 2024 y mayo de 2025. Se observa una variación significativa en las proporciones entre ambos meses.

En noviembre, los residuos de café representaron la fracción dominante, con un 54%, mientras que los residuos de frutas y verduras fueron menores, con un 39%. En contraste, en mayo esta relación se invirtió, con los residuos de frutas y verduras alcanzando un 59% del total y una disminución proporcional en residuos de café (36%). Las cáscaras de huevo mantuvieron una proporción constante y reducida en ambos periodos.

Variación en la composición porcentual de residuos orgánicos entre noviembre 2024 y mayo 2025

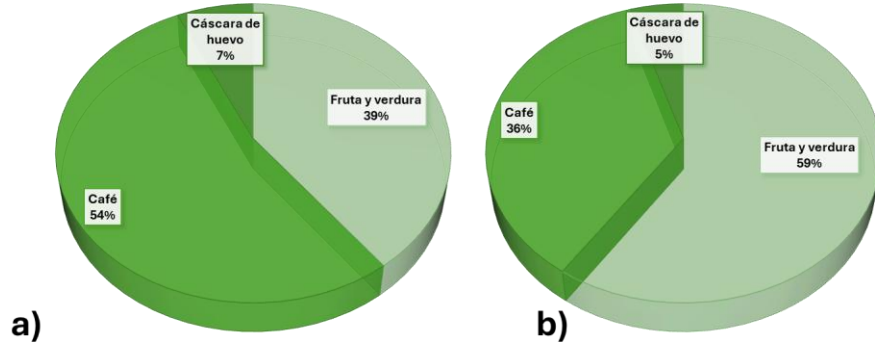


Figura 15. Composición porcentual de residuos orgánicos recolectados durante la caracterización en: a) noviembre de 2024 y b) mayo de 2025. Elaboración propia.

#### 5.4 Propuesta de un protocolo de compostaje universitario

Derivado del análisis de la generación y composición de residuos orgánicos recolectados en la cafetería universitaria, y en atención al objetivo de proponer una solución operativa viable, se diseñó un protocolo técnico para el compostaje institucional con enfoque mixto. Este documento integra los lineamientos técnicos, operativos y de gestión necesarios para la implementación del sistema, considerando tanto el compostaje tradicional como el vermicompostaje.

El protocolo completo se incluye en el Anexo 1

## 5.5 Estrategias de sensibilización, comunicación y capacitación propuestas

En el marco del tercer objetivo específico, orientado a comunicar y sensibilizar al personal de la cafetería y a la comunidad universitaria sobre la correcta separación de residuos y la importancia del compostaje, se proponen las siguientes estrategias diseñadas bajo el enfoque SMART (Específicas, Medibles, Alcanzables, Relevantes y Temporales), con el propósito de facilitar su implementación, evaluación y mejora continua.

Este objetivo se encuentra alineado con los principios del Programa Cero Residuos de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), unidad Punta Morro, el cual busca: “educar e incidir en los hábitos de generación de residuos por parte del personal de la institución, usuarios y visitantes, promoviendo la separación desde el origen y evitando el “wishcycling” o “reciclaje de deseos”.

### Estrategia 1. Capacitación operativa al personal de la cafetería

Se propone la siguiente estrategia con el propósito de fortalecer la participación del personal de la cafetería (Tabla 4), reconociendo su papel clave en la correcta separación de los residuos orgánicos. Resulta indispensable brindarles capacitación e información que no solo refuerce la importancia de esta tarea, sino que también sirva como recordatorio constante en caso de que disminuya su atención o prioridad hacia la separación de residuos.

#### Tabla 4

##### *Estrategia 1. Capacitación operativa al personal de la cafetería*

Específica (S)	La capacitación está dirigida al personal de la cafetería universitaria sobre la separación correcta de residuos orgánicos y los principios del compostaje institucional.
Medible (M)	Se espera la participación total del personal del área de cocina, quienes serán evaluados mediante una encuesta aplicada antes y después de la sesión. El propósito es medir su conocimiento sobre la separación correcta y el compostaje de residuos orgánicos, con

	la meta de lograr un aumento de al menos 30 % en el nivel de conocimiento.
Alcanzable (A)	Se impartirá una sesión de 20 a 30 minutos para minimizar interrupciones en las labores del personal. Será breve y sencilla, pero con contenido relevante que facilite el aprendizaje, incluyendo un ejercicio práctico de clasificación de residuos simulados
Relevante (R)	La separación en origen es fundamental para el éxito del compostaje. Mantener un seguimiento del personal de cocina, brindándoles información y capacitación, puede generar un impacto positivo al asegurar una separación adecuada. Esto ayuda a evitar la presencia de plásticos y otros residuos que no pueden ser compostados en el sistema actual.
Temporal (T)	La capacitación se llevará a cabo durante la segunda o tercera semana de iniciado el semestre escolar. Adicionalmente, se realizará una sesión de refuerzo informal a mediados del semestre para consolidar conocimientos y reforzar buenas prácticas.

Nota. Elaboración propia-

## Estrategia 2: Proyección de contenido audiovisual educativo en monitores de la cafetería

Se propone la creación y transmisión de cápsulas audiovisuales educativas breves, enfocadas en la gestión integral de residuos (Tabla 5), con énfasis en los residuos orgánicos. Cada cápsula tendrá una duración de 2 a 3 minutos.

Las cápsulas se proyectarán en bucle en la televisión de la cafetería de lunes a viernes, entre las 10:00 a.m. y las 4:00 p.m. Cada una permanecerá en pantalla durante una semana antes de ser reemplazada por la siguiente.

Además, se producirá un video especial estilo documental (máximo 5 minutos) que mostrará el proceso completo del compostaje institucional, desde la separación inicial de residuos en la cafetería hasta su transformación en composta y humus mediante

compostaje y vermicompostaje. Este material busca fortalecer el sentido de pertenencia del personal y visibilizar el impacto positivo de su participación

**Tabla 5**

*Estrategia 2: Proyección de contenido audiovisual educativo en monitores de la cafetería.*

Específico (S)	Elaborar y proyectar cápsulas audiovisuales de 2 a 3 minutos que informen y sensibilicen sobre la separación correcta de residuos orgánicos, el proceso de compostaje institucional y sus beneficios ambientales.
Medible (M)	Producción de al menos 4 cápsulas temáticas, con una frecuencia de emisión diaria en horario de comidas.
Alcanzable (A)	El contenido será diseñado por estudiantes involucrados en el proyecto. Se utilizarán las pantallas disponibles, además hay disposición por parte de la administración de la cafetería en proyectar el contenido.
Relevante (R)	Fomenta y fortalece el compromiso de la comunidad para mantener y mejorar sus prácticas de separación y compostaje
Temporal	Lanzamiento de las cápsulas en la última semana de agosto de 2025, y proyectándose a lo largo de todo el semestre escolar. Revisión mensual del contenido para adaptarlo y actualizarlo.

Nota. Elaboración propia.

**Estrategia 3. Campaña de difusión digital en redes sociales**

Con el propósito de fortalecer la sensibilización ambiental y fomentar la participación de la comunidad universitaria en la correcta separación de residuos y el compostaje, se propone una campaña de comunicación digital (Tabla 6). Esta estrategia busca aprovechar el alcance de las redes sociales para difundir información clave de manera accesible, atractiva y continua.

Esta estrategia forma parte integral del componente participativo del protocolo de compostaje institucional y busca contribuir a la consolidación de una cultura ambiental dentro del campus, en coherencia con el programa Cero Residuos y con la Agenda 2030.

**Tabla 6**

*Estrategia 3. Campaña de difusión digital en redes sociales.*

Específica (S)	Diseñar e implementar una campaña educativa digital para fomentar la separación adecuada de residuos y el compostaje, utilizando contenido visual estratégico en Instagram, como parte del proyecto de compostaje universitario.
Medible (M)	Publicar contenido al menos una vez por semana durante el semestre escolar, con el objetivo de alcanzar un mínimo de 500 visualizaciones e interacciones acumuladas a lo largo de este período. Incrementar al menos 10 nuevos seguidores cada mes. Utilizar Canva, una herramienta gratuita que facilita el diseño del
Alcanzable (A)	contenido, junto con el apoyo de la coordinación del proyecto de compostaje y la colaboración con otras redes institucionales.
Relevante (R)	La campaña no solo informa, sino que fortalece la participación y sensibilización de la comunidad universitaria, atrayendo nuevos participantes y aliados al proyecto.
Temporal (T)	La campaña comenzará en la última semana de agosto y se desarrollará a lo largo de todo el semestre escolar. Los resultados serán evaluados mes a mes para ajustar el contenido según la respuesta de la comunidad.

Nota. Elaboración propia.

## 6 DISCUSIONES

La caracterización de los residuos orgánicos generados por la cafetería del campus universitario se realizó entre noviembre de 2024 y mayo de 2025. Este permitió adaptar el protocolo a las condiciones reales del campus, basándose en datos empíricos y no solo en estimaciones teóricas.

Además de identificar cambios mensuales en la cantidad y composición de los residuos, la decisión de extender el estudio se basó en referencias técnicas internacionales. De acuerdo con la metodología de caracterización de eliminación uniforme de residuos de CalRecycle publicada por CalRecycle (California Department of Resources Recycling and Recovery), los estudios en generadores no residenciales deben contemplar al menos 40 a 50 muestreos al año, distribuidos en un mínimo de dos estaciones del año, con el fin de reflejar adecuadamente las variaciones estacionales y operativas del sistema (CalRecycle, s.f. consultado en 2025). En este trabajo se realizaron 55 muestreos entre noviembre y mayo, cubriendo las temporadas de otoño-invierno y primavera, con una frecuencia de dos a tres recolecciones por semana. Esta estrategia garantiza la representatividad estacional y la solidez estadística de los datos, ofreciendo un respaldo técnico confiable para el diseño del protocolo.

Se recolectó un total de 776.19 kg de residuos orgánicos durante el periodo de caracterización. A partir de estos datos, se estimó que la cafetería genera en promedio 7.37 kg de residuos orgánicos por día, con un valor máximo registrado en abril de 8.15 kg/día y un mínimo en marzo de 5.98 kg/día. Con base en esta estimación diaria, se calcula que la generación semanal promedio de residuos orgánicos es de aproximadamente 37 kg, esto representa una carga considerable para un sistema de compostaje a pequeña escala, lo que exige una planificación cuidadosa en términos de capacidad y manejo operativo. En este sentido, se refuerza la pertinencia de implementar un sistema de compostaje institucional, capaz de manejar eficientemente estos volúmenes.

La caracterización prolongada permitió capturar variaciones temporales importantes, como la disminución de generación durante diciembre y enero, meses de baja actividad académica y los picos observados en abril y mayo. De no haberse extendido el estudio por varios meses, estos cambios importantes no habrían sido visibles, lo que podría haber llevado al diseño de un sistema de compostaje subdimensionado. Según Dahlawi y El Sharkawy (2021), en las universidades la cantidad de residuos sólidos que se genera varía en función del calendario académico y la realización de eventos institucionales. Por eso, una caracterización en un periodo corto de tiempo no siempre basta para planificar su gestión de forma adecuada.

En cuanto a la composición promedio durante el semestre, los residuos se distribuyeron en un 49% de frutas y verduras, 46% de residuos de café y 5% de cáscaras de huevo. Sin embargo, estos promedios ocultan variaciones interesantes entre los meses. En noviembre, los residuos de café fueron el componente dominante (54%), mientras que los residuos de frutas y verduras representaron solo el 39%. Este comportamiento puede asociarse al cierre del semestre, donde el consumo de café tiende a aumentar entre los alumnos, así como a las bajas temperaturas características del mes, que favorecen el consumo de bebidas calientes. Se recomienda validar esta hipótesis con encuestas o análisis de consumo futuro.

Esta tendencia se invirtió en abril y mayo: los residuos de frutas y verduras alcanzaron hasta el 59%, mientras que los de café descendieron al 36%. Las cáscaras de huevo, en cambio, se mantuvieron relativamente constantes, con una variación menor al 2% entre meses. Esta transición en las proporciones coincide con la entrada en vigor de los nuevos lineamientos establecidos por la Secretaría de Educación Pública (2025), los cuales restringen la venta de comida chatarra en instituciones educativas a partir del 29 de marzo. Esta política pudo haber influido directamente en la oferta de alimentos de la cafetería y, por ende, en los residuos generados.

En conjunto, estas variaciones confirman la importancia de realizar una caracterización extendida, tanto en duración como en frecuencia, para obtener datos representativos que sustenten adecuadamente las decisiones técnicas del sistema de compostaje. Estas observaciones también son respaldadas por Smyth, Fredeen y Boot (2010) quienes

señalan que una gestión eficaz de los residuos en campus universitarios requiere diagnósticos prolongados y detallados, capaces de identificar patrones reales de generación y prevenir diseños operativos inadecuados.

### **Importancia de los tipos de residuos identificados**

La caracterización permitió no solo cuantificar los residuos orgánicos generados en la cafetería, sino también identificar sus tipos y propiedades clave para definir estrategias diferenciadas de tratamiento. Los residuos de frutas y verduras dominaron la muestra con un promedio del 49%. Estos presentan alta humedad, buen contenido de nitrógeno y rápida descomposición, dichas características los hacen favorables para el compostaje como lo reportan García y Villanueva (2021), quienes lograron una composta de calidad empleando una mezcla similar (60% residuos de fruta y verdura con 40% de restos de poda). Sin embargo, estudios como el de Cedeño *et al.* (2023) advierten que cuando estos residuos constituyen la gran mayoría de la mezcla, por ejemplo, superiores a 70-80 % del total pueden reducir la eficiencia del vermicompostaje, debido a su acidez natural y posible salinidad, afectando la degradación del sustrato y la producción de humus.

Para contrarrestar estas limitaciones y lograr una relación C/N más equilibrada, se propuso incorporar césped seco previamente tratado como fuente de carbono, optimizando así tanto la aireación como la absorción de humedad. Esta decisión técnica busca adaptar el protocolo a las condiciones reales observadas, asegurando un proceso más estable y eficiente en ambos sistemas: compostaje tradicional y vermicompostaje. Se recomienda monitorear la proporción césped-residuos frescos para evitar desbalance C/N.

Aunque el porcentaje de residuos de café disminuyó hacia el final del semestre (de 54 % en noviembre a 36 % en mayo), su presencia se mantuvo constante a lo largo del periodo de caracterización. Esto confirma que el café constituye un insumo clave del sistema. De acuerdo con Bomfim *et al.* (2023), el café aporta nitrógeno, potasio y magnesio, y favorece la estructura del sustrato al mejorar la retención de humedad y la aireación, lo cual estimula la actividad microbiana aeróbica. También menciona que, en sistemas de vermicompostaje, puede favorecer la reproducción de lombrices. No obstante, se señala

también la necesidad de controlar la presencia de compuestos fenólicos y cafeína, que podrían generar toxicidad si no se asegura una adecuada descomposición.

En este contexto, el café, combinado con el resto de los residuos identificados, no solo actúa como fuente de nutrientes y materia orgánica, sino también como estabilizador físico y energético. Esta interpretación se ve respaldada por Adi y Noor (2009), quienes demostraron que mezclas con 70% de posos de café y 30% de estiércol bovino generaron el mayor incremento en biomasa y número de lombrices (*Lumbricus rubellus*), además de producir un humus con alto contenido de nitrógeno, potasio y una relación C/N baja), lo que indica madurez del humus. Sin embargo, estos resultados se lograron bajo condiciones controladas y tras aplicar un pretratamiento, por lo que se concluye que los residuos de café pueden ser aprovechados exitosamente si se someten previamente a un breve proceso de precompostaje, lo cual permite reducir su acidez y temperatura iniciales, garantizando condiciones favorables para el desarrollo de las lombrices y la transformación del sustrato. Estos resultados se obtuvieron bajo condiciones controladas, por lo que su extrapolación al sistema actual debe realizarse con cautela.

Aunque las cáscaras de huevo representaron solo el 5% de los residuos, su generación fue constante a lo largo de todo el semestre. Su contenido de calcio contribuye a regular el pH del sustrato y aporta minerales valiosos, lo cual es beneficioso para la estabilidad química de la composta. Su función alcalinizante es especialmente útil al combinarse con residuos ácidos, como el café. En este sentido, el ensayo realizado por Gallardo *et al.* (2018) evidenció que la combinación de cáscaras de huevo y café no solo promovió un mayor crecimiento poblacional de *Eisenia foetida*, sino que también aumentó significativamente la producción de humus. Los autores concluyen que esta mezcla generó un entorno más favorable en cuanto a aireación, retención de humedad y equilibrio ácido-base, confirmando así el valor funcional de las cáscaras de huevo.

### **Elección del sistema de compostaje mixto: compostaje tradicional y vermicompostaje**

La elección de un sistema mixto de compostaje tradicional y vermicompostaje responde a la necesidad de gestionar eficientemente tanto el volumen como la composición de los

residuos generados. Esta estrategia permite aprovechar las ventajas de ambos procesos, adaptándolos a las características físico-químicas particulares de los diferentes residuos.

Por el momento, el vermicompostaje se aplicará únicamente a aproximadamente el 25% de los residuos orgánicos recolectados, correspondientes a restos de frutas, cáscaras de huevo y una parte del residuo de café, debido a la cantidad limitada de lombrices y cajas disponibles, y porque el uso moderado de estas fracciones ha demostrado favorecer el desarrollo de *Eisenia foetida* (Adi y Noor, 2009; Gallardo *et al.*, 2018). No obstante, se optó por no incorporar la totalidad del residuo de café para prevenir posibles efectos tóxicos derivados de compuestos fenólicos, cafeína y alta acidez, que podrían generar estrés en las lombrices si no se manejan con precaución (Bomfim *et al.*, 2023), esta decisión busca mantener condiciones estables para las lombrices.

Por otro lado, el compostaje tradicional será el encargado de gestionar la mayor parte del volumen de residuos, especialmente aquellos con alto contenido de humedad, como el residuo de café húmedo y con baja relación C/N, que en comparación con el vermicompostaje requieren un manejo menos delicado y de incluirse en exceso, podrían saturar o desbalancear el proceso, incluso perjudicar a las lombrices. Esta decisión también considera las limitaciones logísticas y de infraestructura existentes en el campus, como el espacio reducido en el área de compostaje, la disponibilidad limitada de personal para el manejo continuo del sistema, y la ausencia de equipos especializados de volteo o la aireación forzada. Estas condiciones hacen que el compostaje tradicional en sistemas estáticos sea una opción técnica y operativamente viable.

Para la implementación operativa, se contempló el uso de cuatro contenedores plásticos tipo tambor de 200 L para el compostaje tradicional y cajas plásticas con tapa de 102 L para el vermicompostaje. Esta configuración modular permite una implementación escalable y adaptable a futuras ampliaciones del programa.

La decisión de implementar un sistema modular de bajo costo, basado en composteras estáticas para el compostaje tradicional y cajas plásticas para el vermicompostaje se reporta por Vázquez *et al.* (2020), quienes desarrollaron un sistema descentralizado de compostaje universitario que empleó composteras estáticas de 340 L para volúmenes bajos de residuos (<20 kg/día), y sistemas dinámicos mecánicos para mayores volúmenes (>40 kg/día). Estos sistemas permitieron alcanzar temperaturas necesarias, obtener composta madura en tres a cuatro meses y cumplir con la calidad Clase A, en España, esta clasificación definida en el Real Decreto 865/2010 se aplica a la composta que cumple con los requisitos de calidad más exigentes, caracterizado por presentar concentraciones muy bajas de metales pesados, no contener patógenos de riesgo y ser apto para su utilización agrícola, conforme a normativa española. Además, su operación manual fomentó la participación estudiantil, redujo lixiviados y eliminó la necesidad de energía eléctrica o ventilación forzada.

Adicionalmente, el estudio de Vázquez *et al.* (2020) procesó residuos cocinados, como restos de arroz, carne y alimentos condimentados, mediante sistemas complejos que incluyen compostador dinámico con giro automatizado, aireación forzada, control térmico, recolección de lixiviados y biofiltro de emisiones. Sin embargo, estas tecnologías demandan altos costos, además de requerir monitoreo constante y personal especializado, y aunque son eficaces para grandes volúmenes (hasta 80 kg/día), su aplicación en el presente proyecto no resulta viable, ya que estas características los hacen menos adecuados para proyectos piloto o institucionales con infraestructura básica y enfoque educativo.

Por ello, considerando la simplicidad operativa, la participación comunitaria y el bajo consumo energético deseados, se decidió excluir los residuos cocinados del sistema propuesto. Estos materiales, con alta humedad, contenido graso y carga microbiológica, presentan riesgos elevados de lixiviados, olores, atracción de roedores y desbalance en sistemas abiertos o estáticos. En consecuencia, se priorizan para el tratamiento las fracciones vegetales, residuos de café y cáscaras de huevo, debido a su mayor estabilidad, bajo riesgo sanitario y no solo garantiza la viabilidad técnica y sanitaria del proyecto en su fase inicial, sino que también sienta las bases para futuras ampliaciones

y mejoras. El presente trabajo constituye un primer paso hacia la consolidación de un modelo de manejo sustentable de residuos orgánicos dentro del campus universitario, ofreciendo una referencia valiosa para replicación en otras unidades académicas o escalamiento a nivel institucional.

## 7 CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue diseñar un programa de compostaje universitario basado en técnicas tradicionales y vermicompostaje continuo con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). El proyecto buscó valorizar los residuos orgánicos generados en la cafetería de la Unidad Punta Morreo de la UABC y adaptarse a las condiciones reales del campus.

El muestreo prolongado permitió observar variaciones en la composición y volumen de los residuos a lo largo del tiempo, lo que confirmó la importancia de haber realizado una caracterización extendida. Esta etapa fue clave para fundamentar técnicamente el diseño del protocolo. Se excluyeron los residuos cocinados y cárnicos, esta decisión respondió a la necesidad de mantener un enfoque viable y controlado, sin comprometer la seguridad del proceso.

El protocolo técnico de compostaje fue diseñado con base en la información generada durante la fase de caracterización de residuos. Incluye todas las etapas del proceso, desde la separación inicial y recolección, hasta el tratamiento mediante compostaje tradicional y vermicompostaje. Se plantea una separación basada en la composición de los residuos, destinada aproximadamente el 75% al compostaje tradicional y el 25% al vermicompostaje. Esta estrategia aprovecha recursos ya disponibles, se ajusta a las capacidades actuales y ofrece flexibilidad para adaptarse a cambios futuros.

Respecto al tercer objetivo, se diseñaron estrategias de sensibilización ambiental y participación comunitaria que buscan asegurar la sostenibilidad del programa. Estas acciones están orientadas a fortalecer el compromiso del personal de cafetería, como generador directo de residuos, así como involucrar a la comunidad universitaria en general. Estas sugerencias no solo buscan garantizar la continuidad del proyecto, sino también fortalecer una cultura ambiental dentro del campus, creando una conciencia colectiva sobre la relevancia de estos procesos.

En conjunto, el desarrollo del programa permitió integrar los aspectos técnicos y sociales necesarios para dar un primer paso hacia una gestión más consciente de los residuos

orgánicos. El análisis del contexto permitió adaptar las soluciones a la realidad del campus, identificando retos como la baja participación y desconocimiento de parte de la comunidad universitaria respecto al manejo de residuos orgánicos, las dificultades de coordinación con el personal de jardinería y la rotación semestral de estudiantes, que afecta la continuidad del proyecto. No obstante, se reconocen oportunidades como la disponibilidad de infraestructura y espacio suficientes para iniciar, así como la posibilidad de mitigar las limitaciones mediante capacitaciones periódicas, documentación clara y una evaluación progresiva para ampliar y mejorar el sistema durante su implementación.

Este primer paso hacia la estructuración de un sistema institucional de compostaje no solo responde a los lineamientos del programa “Cero Residuos” de la UABC, sino que también refleja el compromiso y la identidad de la Facultad de Ciencias Marinas. Con su licenciatura en Ciencias Ambientales y el posgrado en La Especialidad en Gestión Ambiental, la facultad aporta una base sólida orientada a la sostenibilidad, la conservación y el manejo responsable del medio ambiente. A partir de este trabajo, la universidad cuenta con un modelo técnico y viable que puede ser replicado, mejorado y adaptado a otras unidades académicas, avanzando hacia una gestión de residuos más integral, participativa y ambientalmente responsable.

## 8 REFERENCIAS

- Acosta-Durán, C. M., Solís-Pérez, O., Villegas-Torres, O. G., & Cardoso-Vigueros, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*, 37(1), 127–139.
- Adi, A. J., & Noor, Z. M. (2009). Waste recycling: Utilization of coffee grounds and kitchen waste in vermicomposting. *Bioresource Technology*, 100(2), 1027–1030. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.07.024>
- Al, A. R., Haroun, A., & Osman, A. (2022). A comprehensive approach to the feasibility assessment of on-campus food waste composting. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(4), 964–977. <https://doi.org/10.1002/ieam.4529>
- Barrena, R., & Sánchez, A. (2022). Home composting: A review of scientific advances. *Engineering Proceedings*, 19(1), 35. <https://doi.org/10.3390/ECP2022-12625>
- Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso de compostaje*. Ediciones Unisalle.
- Bomfim, A. S. C. de, de Oliveira, D. M., Walling, E., Babin, A., Hersant, G., Vaneeckhaute, C., Dumont, M.-J., & Rodrigue, D. (2023). *Spent coffee grounds characterization and reuse in composting and soil amendment*. *Waste*, 1(1), 2–20. <https://doi.org/10.3390/waste1010002>
- Bryson, J. M. (2004). What to do when stakeholders matter: Stakeholder identification and analysis techniques. *Public Management Review*, 6(1), 21–53. <https://doi.org/10.1080/14719030410001675722>
- CalRecycle. (n.d.). *Collecting your own solid waste characterization data: CalRecycle uniform waste disposal characterization method*. California Department of Resources Recycling and Recovery. <https://www2.calrecycle.ca.gov/WasteCharacterization/General/UniformMethod>
- Campitelli, P., Ceppi, S., Velasco, M., & Rubenacker, A. (2014). *Compostaje. Obtención de abonos de calidad para las plantas*. Editorial Brujas. <https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/2047223/>
- Cantillo Ospina, L., & Carvajal Castrillón, J. (2024). *Propuesta de aprovechamiento de residuos de posos de café inoculados con Mycelium Volvariella en la producción de un fertilizante orgánico* (Trabajo de grado de pregrado). Universidad Autónoma de Occidente. <https://hdl.handle.net/10614/15928>
- Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte: Informe sintético*.

<https://www.cec.org/es/publications/caracterizacion-y-gestion-de-los-residuos-organicos-en-america-del-norte/>

Cedeño Saltos, K. A., Barrera Álvarez, A. E., Torres Navarrete, E. D., & Jácome López, G. A. (2023). Características físicas y transformación productiva y reproductiva de la *Eisenia foetida* en compostaje con residuos orgánicos. *Revista de Investigación Talentos*, 10(2), 1–15. <https://doi.org/10.33789/talentos.10.2.186>

Dahlawi, S., & El Sharkawy, M. F. (2021). *Assessment of solid waste management practice in the university campus. International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(3), 561–575. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2020-0183>

de León Vázquez, I. I., Tapia-Castillo, D. I., & Vélez-Díaz, D. (2019). La sustentabilidad en las instituciones de educación superior. *Xikua Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan*, 7(14), 40–47. <https://doi.org/10.29057/xikua.v7i14.4255>

Doran, G. T. (1981). There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *Management Review*, 70(11), 35–36.

Esparza, J. (2021). Clasificación y afectación por residuos sólidos urbanos en la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 357–371. <https://doi.org/10.20937/RICA.53758>

Fernández Asqui, G. A., Maquera Lupaca, R., & Díaz, D. T. (2024). Gobiernos municipales y gestión integral de residuos sólidos en América Latina: Una revisión sistemática. *Revista de Climatología*, 24(Ciencias Sociales), 981–986. <https://doi.org/10.59427/rcli/2024/v24cs.981-986>

García Gómez, T. M., & Villanueva Velásquez, K. S. (2021). *Evaluación de dos sistemas de compostaje para la valorización de residuos orgánicos de un centro de abastos del distrito de Islay. Arequipa. 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Facultad de Arquitectura, Ingeniería Civil y del Ambiente.

Gallardo, L., Contreras, Y., Jaramillo, J., & Albán, R. E. (2018). La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*): una aliada en la agricultura urbana sustentable. *Cadernos de Agroecología*, 13(1), [https://www.academia.edu/115328642/La\\_lombriz\\_Roja\\_Californiana\\_Eisenia\\_foetida\\_una\\_Aliado\\_en\\_la\\_Agricultura\\_Urbana\\_Sustentable](https://www.academia.edu/115328642/La_lombriz_Roja_Californiana_Eisenia_foetida_una_Aliado_en_la_Agricultura_Urbana_Sustentable)

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.

Jantz, M. N., & Ruggerio, C. A. (2021). Tratamiento de los residuos sólidos orgánicos domésticos como estrategia para la mitigación del impacto ambiental negativo de la gestión de residuos en áreas urbanas. *Ambiente en Diálogo*, 2, e026.

- León, S., & Moreno, P. (2024, 9 de septiembre). El campus Ensenada implementó la metodología nacional “Basura Cero” del CONACYT. *Gaceta UABC*. <https://gaceta.uabc.mx/el-campus-ensenada-implemento-la-metodologia-nacional-basura-cero-del-conahcyt>
- Li, Z., Lu, H., Ren, L., & He, L. (2013). Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere*, 93(7), 1247–1257. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.064>
- López García, C., & Tello Tovar, J. (2025). *Propuesta de mejora para el proceso de vermicompostaje de los residuos de alimentos de origen vegetal procedentes de las cafeterías de la Universidad Autónoma de Occidente* [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente]. <https://hdl.handle.net/10614/16095>
- Mawonde, A., & Togo, M. (2019). *Implementation of SDGs at the University of South Africa*. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 20(5), 932–950. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-04-2019-0156>
- Mendoza, F. (2012). *Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la Universidad de Piura* [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional de la Universidad de Piura. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1641>
- Moreno Rangel, P. (2018, 9 de abril). Inicia en Campus Ensenada el Programa Cero Residuos. *Gaceta UABC*. <https://gaceta.uabc.mx/notas/academia/inicia-en-campus-ensenada-el-programa-cero-residuos>
- ONU Medio Ambiente. (2018). *Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe. <https://www.unep.org/ietc/resources/publication/waste-management-outlook-latin-america-and-caribbean>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>
- Ruiz, M., & Acevedo, A. (2011). Uso de una estación experimental de lombricomposta para desarrollar experiencias multidisciplinarias a nivel universitario. *Formación Universitaria*, 4(5), 21–28. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=373534513004>
- Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación [SECIHTI]. (2022, noviembre). *Boletín de opciones para acabar con la basura (La Escoba, Núm. 4)*. SECIHTI. <https://secihti.mx/la-escoba-4/>
- Secretaría de Educación Pública. (2025, 28 de marzo). Boletín 100. Convoca titular de la SEP a las y los docentes a informar y concientizar sobre la prohibición de venta de comida chatarra en planteles. <https://www.gob.mx/sep/prensa/boletin-100-convoca>

[titular-de-la-sep-a-las-y-los-docentes-a-informar-y-concientizar-sobre-la-prohibicion-de-venta-de-comida-chatarra-en-planteles?idiom=es](#)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] & Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2020). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

Sharma, K., & Garg, V. K. (2019). Vermicomposting of waste: A zero-waste approach for waste management. In M. Taherzadeh, K. Bolton, J. Wong, & A. Pandey (Eds.), *Sustainable resource recovery and zero waste approaches* (pp. 133–164). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00010-4>

Smyth, D. P., Fredeen, A. L., & Booth, A. L. (2010). Reducing solid waste in higher education: The first step towards 'greening' a university campus. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 1007–1016. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.02.008>

Sreenivasan, E. (2018). *Handbook of Vermicomposting Technology* [Versión digital]. The Western India Plywoods Ltd. Disponible en <https://archive.org/details/handbook-of-vermicomposting>

Suárez Bordón, S. (2020). *El proceso del compostaje*. *Granja. Revista agropecuaria*, (19), 89–92. <https://revistas.grancanaria.com/index.php/GRANJA/article/view/9863>

Universidad Autónoma de Baja California. (2023). *Plan de Desarrollo Institucional 2023–2027*. [https://planeacion.uabc.mx/pdi2023/docs/UABC\\_PDI\\_2023-2027\\_Extendido.pdf](https://planeacion.uabc.mx/pdi2023/docs/UABC_PDI_2023-2027_Extendido.pdf)

Vargas Restrepo, C. M., Gutiérrez Monsalve, J. A., Vélez Rivera, D. A., Gómez Betancur, M. A., Aguirre Cardona, D. A., Quintero Osorio, L. A., & Franco Montoya, J. C. (2021). *Gestión del manejo de residuos sólidos: un problema ambiental en la universidad*. *Pensamiento & Gestión*, (50), 117–152. <https://doi.org/10.14482/pege.50.628.445>

Vázquez, M. A., Plana, R., Pérez, C., & Soto, M. (2020). Development of technologies for local composting of food waste from universities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(9), 3153. <https://doi.org/10.3390/ijerph17093153>

## 9 ANEXO 1

Elaborado por:

Rubiel Isaac  
López Ávila

Mary Carmen Ruiz  
de la Torre

# Protocolo para la Implementación de un Sistema de Compostaje

Junio 2025



# Presentación

El presente protocolo técnico es resultado del trabajo desarrollado durante el ciclo escolar 2024–2025, como parte del trabajo terminal de la Especialidad en Gestión Ambiental, impartida por la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Académica Punta Morro.

El protocolo se enmarca en una estrategia para el manejo sustentable de residuos orgánicos en el Campus Ensenada de la UABC, con énfasis en los residuos generados en la cafetería universitaria. Entre noviembre de 2024 y mayo de 2025, se llevó a cabo la caracterización y cuantificación de residuos orgánicos generados en la cafetería, lo cual permitió diseñar un sistema mixto de compostaje que integra el compostaje tradicional con el vermicompostaje, orientado a transformar los residuos en abono orgánico aprovechable.

Este documento tiene como finalidad servir como guía práctica y técnica para la implementación, operación y mejora continua del sistema, con posibilidad de replicación en otros espacios institucionales o comunitarios que busquen una alternativa sustentable para el aprovechamiento de residuos orgánicos.

**Elaborado por:**  
Rubiel López Ávila  
Mary Carmen Ruiz De La Torre

Universidad Autónoma de Baja California  
Facultad de Ciencias Marinas  
Especialidad en Gestión Ambiental  
Ensenada, B.C. Junio 2025

# ÍNDICE

1.Introducción	1
2. Objetivos del protocolo	1
3. Alcance y destinatarios del protocolo	2
4. Fundamento técnico y operativo	2
5. Condiciones iniciales para implementar el sistema de compostaje	3
6. Descripción del proceso de compostaje	4
6.1 Procedimiento de compostaje en contenedores	5
6.2 Procedimiento de vermicompostaje en cajas plásticas	7
6.3. Procedimiento de secado del césped	10
7. Recomendaciones generales	12

## 1.- INTRODUCCIÓN

El manejo adecuado de los residuos orgánicos en Instituciones de Educación Superior (IES) representa una oportunidad para generar beneficios ambientales, económicos y sociales. Estos proyectos permiten reducir los costos asociados al manejo integral de residuos, particularmente aquellos generados en cafeterías, oficinas y áreas verdes, al mismo tiempo que disminuyen el impacto ambiental derivado de su disposición inadecuada.

En este contexto, las estrategias de compostaje se consolidan como una solución sustentable, al transformar residuos orgánicos en abono útil para actividades dentro del campus. No obstante, su éxito depende no solo del diseño técnico del sistema, sino también de la participación colectiva de la comunidad universitaria, especialmente en la correcta separación de residuos sólidos urbanos (Al *et al.*, 2022).

Durante el diagnóstico inicial, se estimó que la cafetería del campus genera en promedio hasta 8.15 kilogramos diarios de residuos orgánicos compostables. Esta cifra sustenta la necesidad de implementar un sistema de tratamiento in situ, que evite su envío al relleno sanitario y permita su valorización local.

## 2.- OBJETIVOS DEL PROTOCOLO

### Objetivo general

Facilitar la implementación y el buen funcionamiento del sistema de compostaje en el Campus universitario, Unidad Punta Morro, para asegurar un aprovechamiento eficiente de los residuos orgánicos generados en la cafetería universitaria.

### Objetivos específicos

- Describir de manera clara los procedimientos para la separación, recolección y traslado de los residuos orgánicos generados en la cafetería universitaria.
- Establecer las actividades y condiciones necesarias para el manejo adecuado del compostaje, tanto tradicional como con lombrices.
- Proporcionar criterios y formatos accesibles para el monitoreo y seguimiento del sistema, asegurando su correcto funcionamiento.
- Detallar recomendaciones prácticas para la cosecha y aprovechamiento del abono orgánico, promoviendo su uso en áreas verdes del campus y otras iniciativas sostenibles.

### 3.- ALCANCE Y DESTINATARIOS DEL PROTOCOLO

Este protocolo está dirigido al personal responsable del manejo de residuos orgánicos y a quienes operan el sistema de compostaje dentro del campus. También está pensado para cualquier integrante de la comunidad universitaria que desee participar, dar seguimiento o replicar esta iniciativa, ya sea en otros espacios de la universidad o en proyectos externos.

Está enfocado en el tratamiento de los residuos orgánicos generados en la cafetería del Campus Ensenada de la UABC, y fue diseñado considerando las condiciones reales del espacio, la infraestructura disponible y la cantidad estimada de residuos que ahí se generan.

Si bien responde a un contexto específico, el sistema puede escalarse a otras áreas del campus o adaptarse a distintos entornos, siempre que se realice un diagnóstico previo y se cuente con la participación activa de la comunidad. Su implementación práctica y su carácter flexible permiten que se modifique según las necesidades, capacidades y objetivos de cada espacio.

### 4.- FUNDAMENTO TÉCNICO Y OPERATIVO

Este protocolo se basa en el diagnóstico de los residuos orgánicos generados en la cafetería del Campus Universitario de la UABC unidad Punta Morro, enfocado exclusivamente en aquellos residuos no cocinados ni de origen cárnico. Durante la caracterización de los residuos generados, se registró un pico máximo de 8.15 kg diarios de residuos orgánicos, los cuales fueron considerados aptos para compostaje y vermicompostaje.

Con base en estas características y en las condiciones reales del sitio como espacio limitado, recursos disponibles y participación universitaria se optó por un sistema mixto que combina compostaje tradicional (75%) en contenedores de 200 litros y vermicompostaje (25%) en cajas de 102 litros con *Eisenia foetida*.

Además, el uso de recipientes cerrados, adaptados a entornos institucionales, ofrece diversas ventajas: protegen el material de la lluvia y el viento, facilitan el volteo, permiten la recolección de lixiviados y reducen la presencia de vectores como roedores o aves (FAO, 2013).

Este enfoque mixto permite aprovechar los beneficios de ambos métodos, facilita el manejo por etapas y puede adaptarse a mayores volúmenes mediante la ampliación de la infraestructura. La correcta separación en origen es esencial para el éxito del sistema y para fomentar una cultura de gestión responsable dentro de la comunidad universitaria.

## 5.- CONDICIONES INICIALES PARA IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE COMPOSTAJE

### Infraestructura mínima:

- 4 contenedores de plástico de 200 litros de capacidad.
- 3 cajas plásticas con tapa de 102 litros de capacidad.

### Materiales:

- Balanza
- Termómetro de composta
- Palas y rastrillos
- Cubetas de 20 litros

### Zonas del sistema propuesto

El protocolo contempla la implementación de cuatro zonas operativas, distribuidas estratégicamente para facilitar el manejo de los residuos orgánicos. Estas zonas se describen a continuación:

- Zona de compostaje

Se propone que esté conformada por cuatro contenedores plásticos de 200 litros de capacidad, organizados para operar en sistema rotativo: recepción, volteo y maduración. Esta disposición permitirá mantener un flujo continuo en el tratamiento aeróbico de los residuos.

- Zona de vermicompostaje

Se plantea utilizar tres cajas plásticas con tapa, de 102 litros de capacidad cada una, adaptadas para el manejo de residuos mediante lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Este diseño modular facilitará su operación, monitoreo y posible expansión del sistema.

- Zona de recepción y secado de césped

Se considera delimitar esta área con malla perimetral para contener el césped recolectado de las áreas verdes y evitar su dispersión. Su función será permitir el secado adecuado del material, el cual se usará posteriormente como fuente de carbono en las mezclas de compostaje.

- Zona de almacenamiento

Se prevé un espacio destinado al resguardo del césped seco en costales, así como de la composta y humus una vez cosechados. Esta zona facilitará el almacenamiento temporal en condiciones adecuadas, previo a su uso.

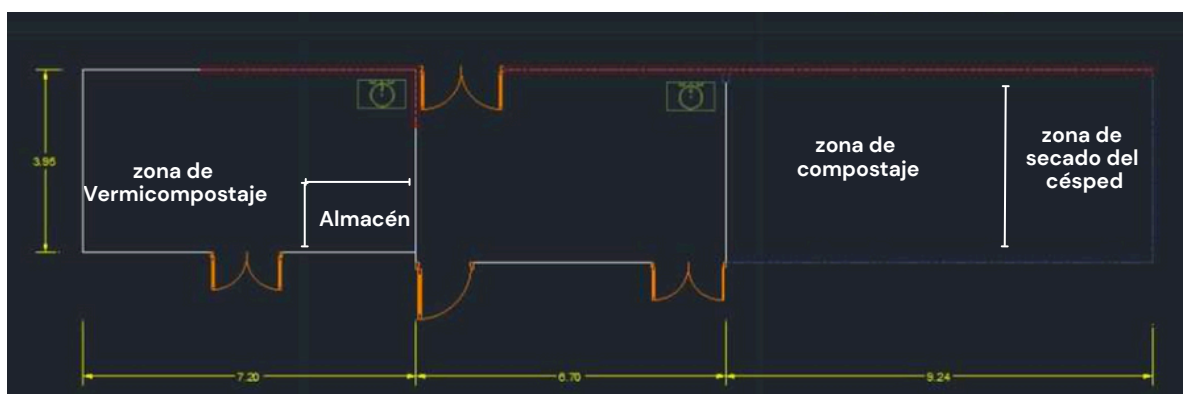


Figura 1. Espacio destinado al proceso de compostaje universitario, campus Ensenada unidad Punta Morro

## 6.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

El sistema de compostaje propuesto para el manejo de residuos orgánicos generados en la cafetería del campus universitario se basa en la correcta separación en sitio, recolección programada, registro del peso de los residuos y asignación de residuos a dos rutas de tratamiento: compostaje tradicional y vermicompostaje (Figura 2). Las acciones iniciales son esenciales para garantizar la calidad del material y el éxito del proceso de compostaje.

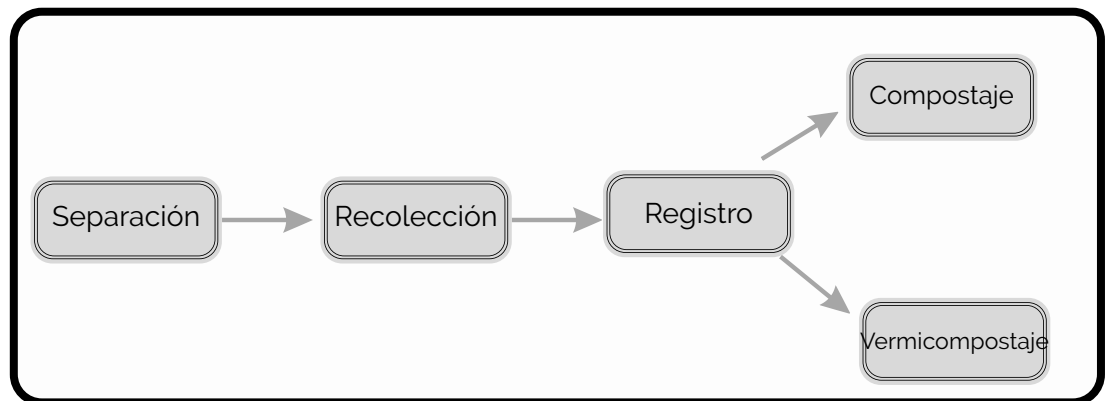


Figura 2. Diagrama del manejo de los residuos orgánicos generados en la cafetería universitaria

### 1. Separación en origen

La primera etapa del sistema inicia en la cafetería, donde el personal operativo separa los residuos orgánicos en tres cubetas plásticas de 20 litros, previamente identificadas. Estas incluyen restos de frutas y verduras, residuos de café con filtros y cáscaras de huevo. Para garantizar una separación efectiva desde el origen y prevenir la contaminación, las cubetas deben estar correctamente etiquetadas con rótulos legibles y mantenerse en buenas condiciones físicas.

### 2. Recolección y traslado

Se propone recolectar los residuos orgánicos tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes), considerando que la cafetería genera hasta 8 kilogramos diarios de residuos orgánicos compostables. Como parte del sistema de recolección, se implementará un procedimiento de intercambio de cubetas entre la cocina y el área de compostaje.

El personal responsable del sistema deberá:

- Llevar cubetas limpias y secas al área de generación (cafetería).
- Recoger las cubetas llenas con residuos orgánicos separados.
- Transportar las cubetas llenas al área de compostaje para su vaciado y registro.
- Lavar y desinfectar las cubetas utilizadas con agua y jabón biodegradable en una zona designada.
- Dejar secar las cubetas al aire libre, en posición invertida para prevenir acumulación de humedad.

### 3. Asignación al tipo de tratamiento

Una vez registrados, los residuos son dirigidos al tipo de tratamiento más adecuado, en función de la capacidad operativa disponible.

- vermicompostaje, utilizando módulos con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).
- Compostaje tradicional, en los contenedores plásticos de 200 litros asignados para este fin.

## 6.1.- PROCEDIMIENTO DE COMPOSTAJE EN CONTENEDORES

Para el compostaje de los residuos orgánicos se propone un sistema de compostaje discontinuo, se le llama así porque es un proceso por cargas, una vez que el contenedor se llena, se deja en reposo permitiendo que el proceso de descomposición se lleve a cabo sin la incorporación de nuevos residuos (FAO, 2013).

La zona destinada al compostaje está conformada por cuatro contenedores plásticos, cada uno con una capacidad de 200 litros (Figura 3). Esta configuración permite obtener composta de manera escalonada y mantener un flujo de trabajo continuo y ordenado. Los contenedores se ubicarán sobre una superficie nivelada, en un espacio ventilado y de fácil acceso, lo cual facilita las labores de llenado, volteo y monitoreo. Además, esta disposición contribuye a reducir olores y minimizar el riesgo de vectores.

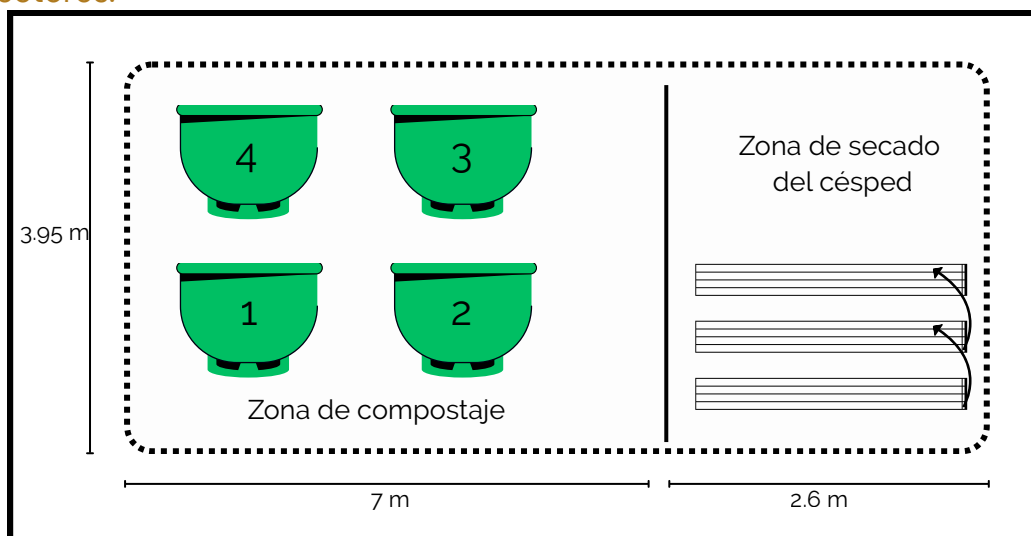


Figura 3. Zona de compostaje compuesta por 4 contenedores con capacidad de 200 litros, junto a ella se ubica la zona de secado del césped.

El proceso de compostaje inicia en el primer contenedor del sistema, donde se depositarán los residuos orgánicos recolectados en la cafetería, junto con restos de poda de césped previamente secado (ver procedimiento de secado en el apartado 6.3). La mezcla debe realizarse en una proporción aproximada de 2 a 3 partes en volumen de material seco por cada parte de residuos frescos (Suárez, 2012).

Esta proporción favorece una relación carbono-nitrógeno (C:N) inicial entre 25:1 y 35:1, considerada óptima para una descomposición eficiente y sin generación de malos olores (FAO, 2013).

Los residuos se depositarán tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes). De acuerdo con el volumen promedio generado, se estima que el contenedor se llenará completamente en un plazo aproximado de cuatro semanas. Durante ese tiempo, cada carga semanal deberá mezclarse con césped seco para asegurar una distribución homogénea y evitar la compactación. Además, se monitorearán parámetros como temperatura, humedad y pH con el objetivo de garantizar que el proceso de compostaje se desarrolle correctamente y de manera eficiente.

Una vez que el contenedor se llena, se cierra y entra en fase de maduración, permaneciendo sin recibir nuevos residuos para permitir la estabilización del material compostado. A partir de ese momento, se habilita el segundo contenedor, siguiendo la misma proporción y frecuencia de llenado. Una vez lleno, se repite el procedimiento con el tercer y cuarto contenedor.

Cuando el cuarto contenedor se acerque a su capacidad máxima, el primer contenedor ya habrá completado un periodo mínimo de doce semanas en maduración y estará listo para su revisión final, tamizado y uso como composta (FAO, 2013). Así, el sistema puede reiniciar su ciclo, utilizando nuevamente el primer contenedor para recibir residuos frescos.

Este sistema de compostaje discontinuo permite una gestión ordenada y escalonada, garantizando un flujo constante de carga y producción de composta en los cuatro contenedores disponibles.

Tabla I. Cronograma del sistema de compostaje

Semana	Contenedores			
	1	2	3	4
1-4	carga	-	-	-
5-8	maduración	carga	-	-
9-12	maduración	maduración	carga	-
13-16	maduración	maduración	maduración	carga
17-20	cosecha/ reinicia el ciclo	maduración	maduración	maduración

## 6.2.- PROCEDIMIENTO DE VERMICOMPOSTAJE EN CAJAS PLÁSTICAS

Actualmente, debido a la capacidad limitada del sistema de vermicompostaje institucional, tanto en infraestructura como en población activa de lombrices, solo es posible procesar una fracción del total de residuos orgánicos recolectados. Por esta razón, el protocolo considera que aproximadamente solo el 25% de los residuos recolectados se destinen a este proceso, mientras que el restante se maneje a través de compostaje tradicional.

El sistema está conformado por tres cajas de plástico con tapa y orificios en la parte inferior para permitir el drenaje, donde se alojan las lombrices. Adicionalmente, se cuenta con una caja más destinada exclusivamente al precompostaje (Figura 4).

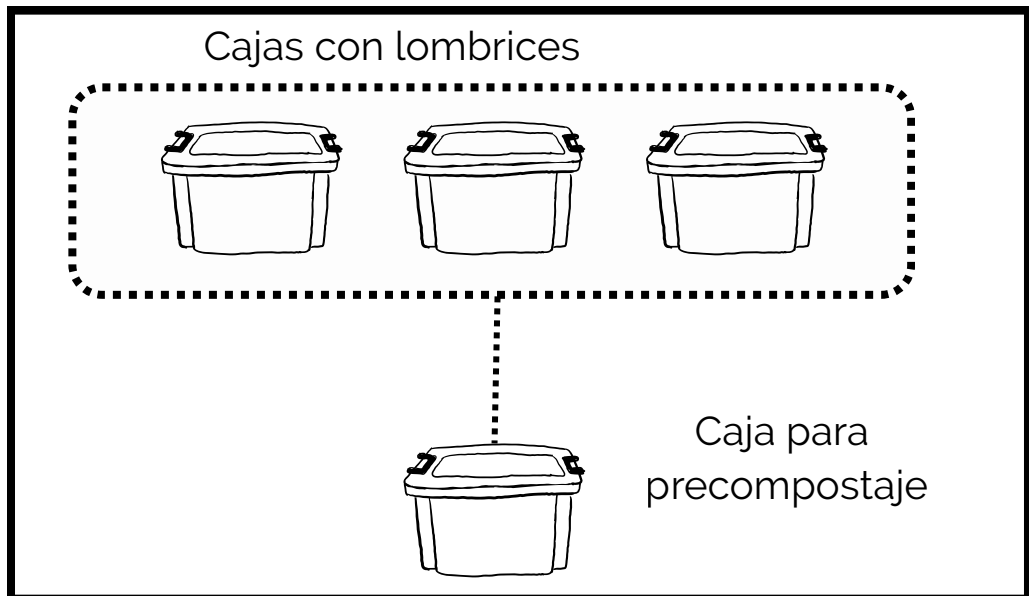


Figura 4. Zona de vermicompostaje compuesta por 4 cajas de plástico con tapa con capacidad de 102 litros.

A continuación se describen los pasos que conforman el proceso de vermicompostaje propuesto en este protocolo. Cada etapa está orientada a asegurar un ambiente óptimo para la actividad de las lombrices y la descomposición eficiente de la materia orgánica:

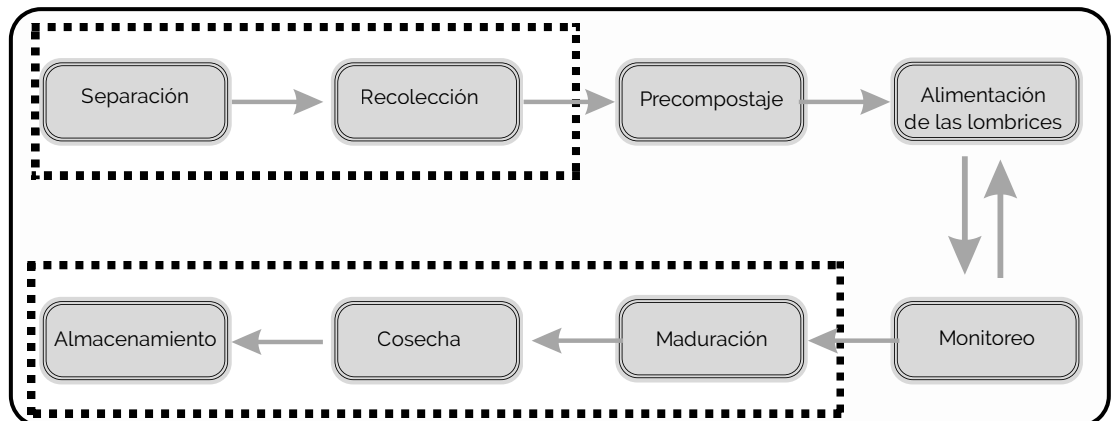


Figura 5. Diagrama del proceso de vermicompostaje propuesto

## PASOS A SEGUIR:

Los dos primeros pasos del proceso (separación y recolección), que en la Figura 5 aparecen delimitados por un recuadro punteado, son comunes tanto para el compostaje tradicional como para el vermicompostaje. Por ello, no se describen nuevamente aquí, ya que fueron abordados en el apartado 5.

### Precompostaje

El precompostaje es una etapa clave en el vermicompostaje, ya que estabiliza la materia orgánica antes de que sea incorporada a la caja de las lombrices. Consiste en dejar reposar la mezcla de residuos orgánicos con material estructurante rico en carbono (césped seco) durante un periodo controlado, bajo condiciones aeróbicas. Estas condiciones, que aseguran la presencia de oxígeno, favorecen la actividad de microorganismos aerobios responsables de la descomposición inicial.

Se recomienda mezclar dos partes de material seco por cada parte de residuos frescos, asegurando una buena relación carbono-nitrógeno y evitando el exceso de humedad. La mezcla debe homogenizarse, es decir, distribuirse de manera uniforme antes de dejarse reposar (Suárez,2012).

Estudios han demostrado que esta etapa mejora las condiciones del sustrato para *Eisenia foetida*. Por ejemplo, López y Tello (2025) reportaron que un precompostaje de dos semanas favorece su reproducción y reduce compuestos nocivos. Además, contribuye a disminuir patógenos y mejorar la disponibilidad de nutrientes (Acosta-Durán et al., 2013).

Para esta fase se utilizará una caja de plástico exclusiva destinada al precompostaje. Una vez llena, la mezcla reposará durante dos semanas, manteniendo condiciones aeróbicas y una humedad adecuada para favorecer la descomposición. El proceso se considerará completo cuando la mezcla presente una textura homogénea, color oscuro y ausencia de olores desagradables, indicando que está lista para ser utilizada como alimento para las lombrices. Posteriormente, se iniciará una nueva preparación, manteniendo un ciclo continuo que garantice un suministro constante de sustrato para el vermicompostaje.

### Alimentación de las lombrices.

Se propone alimentar a las lombrices cada 15 días con la mezcla precompostada, aplicando una capa delgada de aproximadamente 5 cm sobre la superficie del sustrato. En caso de que la mezcla anterior sea consumida por completo antes de ese periodo, se podrá adelantar la siguiente alimentación para asegurar la continuidad del proceso.

Para determinar si es necesario alimentar, se recomienda revisar el sistema al menos una vez por semana. Si la mayor parte del material ha desaparecido y se observan lombrices activas en la capa superior, es señal de que requieren una nueva porción. Es importante evitar la sobrealimentación, ya que el exceso de materia puede generar malos olores, acumulación de lixiviados y afectar negativamente el proceso.

Después de cada alimentación, se sugiere colocar una capa ligera de material seco (como pasto seco) sobre la superficie. Esto ayuda a controlar la humedad, evitar malos olores y reducir la aparición de insectos. Asimismo, se deberán realizar riegos esporádicos para mantener la humedad adecuada, procurando evitar condiciones excesivamente húmedas que puedan favorecer la descomposición anaerobia y la generación de olores desagradables.

## Monitoreo

El monitoreo regular del sistema de vermicompostaje es fundamental para mantener condiciones óptimas para la actividad de las lombrices y asegurar una descomposición eficiente de la materia orgánica. Se recomienda realizar revisiones al menos una vez por semana, tomando en cuenta los siguientes parámetros, basados en lo establecido por la FAO (2013):



**Humedad.** El sustrato debe conservar una humedad entre el 70% y el 80%. Para verificarla, puede aplicarse la “prueba del puño”: al tomar una porción del material y apretarla con la mano, esta debe sentirse húmeda y soltar unas gotas de agua, sin escurrir en exceso. Si el material está muy seco, se recomienda realizar un riego ligero; si está demasiado húmedo, se debe incorporar material seco (como pasto seco o cartón) para absorber el exceso.

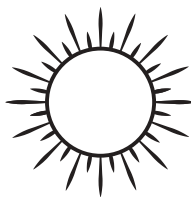


**Temperatura.** El rango óptimo para *Eisenia foetida* es de 15 a 30°C. Este parámetro debe monitorearse especialmente en días calurosos, ya que temperaturas elevadas pueden provocar estrés térmico o incluso la muerte de las lombrices. La zona destinada al vermicompostaje se encuentra bajo techo y permanece sombreada durante todo el día, lo que minimiza el riesgo de sobrecalentamiento.

# pH

**pH.** el rango adecuado para *Eisenia foetida* se encuentra entre 5.0 y 8.5. En condiciones normales, el precompostaje previo contribuye a estabilizar este parámetro, por lo que no suele ser necesario medirlo de forma rutinaria. Sin embargo, si se observa que las lombrices se alejan del alimento o muestran signos de incomodidad, puede ser útil verificar el pH con tiras indicadoras para descartar niveles extremos que afecten su actividad.

En caso de registrar valores de pH por debajo del límite, se recomienda agregar cáscaras de huevo trituradas y mezclar para equilibrar el pH.



**Luz.** *Eisenia foetida* es una especie fotosensible; es decir, reacciona negativamente a la luz y siempre preferirá ambientes oscuros. La exposición prolongada a la luz puede generar estrés y hacer que las lombrices intenten desplazarse hacia zonas más profundas o incluso escapar del contenedor. Se recomienda además de la tapa, cubrir con material rico en carbono, como césped seco o cartón.

Llevar un registro de estos parámetros permite realizar ajustes oportunos para mantener la estabilidad del sistema. Se recomienda llevar una bitácora de monitoreo semanal.

## Maduración, cosecha y almacenamiento

La cosecha del humus generado depende tanto del tipo de sistema como de su escala. En el caso del sistema institucional propuesto de pequeña escala la recolección del humus se realizará una vez que la caja haya alcanzado más de las tres cuartas partes de su capacidad. Según la capacidad de la caja, se espera que este punto se alcance entre los 2 y 3 meses. Se empleará el método de trampeo de lombrices, recomendado por la FAO (2013). Este consiste en suspender la alimentación por un periodo de 8 a 10 días, y posteriormente colocar alimento fresco en un extremo de la caja o directamente sobre la superficie. Las lombrices, atraídas por el nuevo alimento, migrarán hacia esa zona, lo que permite recolectarlas manualmente sin necesidad de remover todo el contenido. Se sugiere repetir esta operación para recuperar el mayor número posible de lombrices.

Es normal que durante la cosecha queden algunos cocones (huevos) y lombrices recién nacidas en el humus. Si se desea una recuperación más completa, es posible retirarlas manualmente, aunque esto puede requerir mayor tiempo y esfuerzo, y su impacto en la población total suele ser bajo.

Una vez recolectado, se recomienda dejar secar el humus a la sombra para reducir su humedad antes de almacenarlo. Si se desea, también puede ser tamizado para homogeneizar el tamaño de las partículas y mejorar su presentación.

Finalmente, el humus será almacenado en costales y en la zona que se tiene para almacenamiento.

## 6.3.- PROCEDIMIENTO DE SECADO DEL CÉSPED

Durante la fase de diagnóstico, realizada entre noviembre de 2024 y mayo de 2025, se identificó la disponibilidad constante de residuos de poda, principalmente césped, generados por el mantenimiento de las áreas verdes del campus. Como parte de esta etapa, dichos residuos fueron recolectados y secados a cielo abierto en un área cercana al sistema de compostaje, lo que permitió evaluar su potencial como material rico en carbono.

A partir de esta experiencia, el presente protocolo propone destinar un área específica para el secado y manejo del césped, con el fin de asegurar su adecuada integración al sistema de compostaje y vermicompostaje.

Durante el proceso de secado, el césped no deberá apilarse a más de 20 cm de altura, con el objetivo de evitar la acumulación de humedad y el aumento de temperatura que podrían generar condiciones anaerobias o procesos de fermentación no deseados. Mantener capas delgadas favorece la aireación natural y permite un secado más eficiente.

Para acelerar el proceso y asegurar un secado homogéneo, se realizarán volteos manuales por lo menos tres veces a la semana. Tal como se ilustra en la Figura 6, los rectángulos horizontales representan las capas de césped y las flechas indican el movimiento rotativo que deberá seguirse durante el volteo. Esta práctica no solo favorece la pérdida uniforme de humedad, sino que también previene la compactación del material, lo cual es fundamental para conservar su estructura fibrosa y facilitar su posterior uso como enmienda carbonada.

Con el fin de asegurar un flujo de trabajo manejable y evitar saturaciones, solo se aceptarán cantidades moderadas de césped fresco, equivalentes al volumen necesario para llenar tres costales en peso seco. Esta medida permite controlar el volumen ingresado y mantener una rotación constante del material.

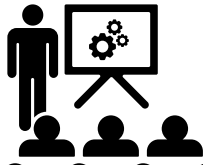
El producto obtenido será un material seco, fibroso y estructurado, ideal como fuente de carbono en las mezclas de compostaje y vermicompostaje.

Dado que su utilidad fue confirmada durante el diagnóstico, se ha destinado un espacio de 2.6 m por 3.95 m para el secado del césped recién cortado. Dentro de esta superficie se dejarán zonas libres para facilitar los volteos y el manejo eficiente del material. Se estima que permitirá realizar el secado inicial y almacenar al menos tres costales de césped seco, asegurando una reserva mínima para mantener la continuidad del proceso.

El área estará delimitada por un perímetro de malla, lo que contribuirá a mantener ventilación cruzada y condiciones adecuadas de secado. Para garantizar el control del ingreso de material, también se establecerá un espacio de recepción, evitando acumulaciones que excedan la capacidad del sistema.

## 7.- RECOMENDACIONES GENERALES

Con base en los hallazgos del diagnóstico y en las buenas prácticas documentadas en literatura técnica, se proponen las siguientes recomendaciones para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de compostaje y su sostenibilidad a mediano y largo plazo:



### Capacitación continua

El personal encargado del sistema debe recibir formación básica sobre el manejo de residuos orgánicos, principios del compostaje y cuidado de las lombrices. Esto incluye la correcta identificación de residuos, el control de humedad, temperatura y pH. La capacitación será impartida por el responsable técnico del programa o personal especializado designado por la institución.



### Registro y monitoreo

Se recomienda llevar una bitácora con registros de las cantidades de residuos ingresados, fechas de alimentación, observaciones relevantes y parámetros básicos. Esta práctica permite evaluar el desempeño del sistema, identificar de áreas de mejora y realizar ajustes oportunos.



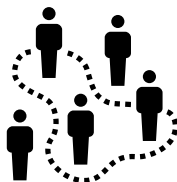
### Separación en origen

Promover entre el personal de cocina la correcta separación de residuos orgánicos, excluyendo los cocinados y cárnicos, y clasificándolos en tres cubetas diferenciadas según su destino: frutas y verduras, café y cáscara de huevo. Esta separación responde a los requerimientos de cada sistema, evitando vectores, olores desagradables y desequilibrios en la mezcla.



### Limpieza y orden

Las zonas de trabajo deben mantenerse limpias, sin residuos fuera de los contenedores. Herramientas y equipos deben limpiarse con regularidad para evitar la proliferación de fauna no deseada y facilitar las labores diarias.



### Divulgación y participación comunitaria

Se recomienda vincular el sistema de compostaje con actividades de educación ambiental del campus. La organización de talleres, visitas guiadas o campañas de sensibilización fortalece la corresponsabilidad y promueve el aprendizaje práctico en torno a la gestión de residuos.

Este protocolo representa una propuesta inicial adaptada a las condiciones actuales del campus. Conforme se consolide su implementación, existen oportunidades para fortalecer y ampliar el sistema.

