INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final del curso: Gestión y Diseño en Tratamiento de Residuos Sólidos (AI-4101)

"Estudio de composición de residuos sólidos del Campus Tecnológico Central Cartago del Instituto Tecnológico de Costa Rica para el 2025"

Paula Sánchez Cartín

Milagro Quirós Carvajal

Nazareth Moya Granados

Sharon Lascarez Montoya

José Andrés Gómez Mejía

Kaleb Granados Castro

Valeria Arce Cortés

Cartago, junio, 2025

TEC | Tecnológico de Costa Rica ingeniería ambiental

Tabla de contenido

Lista de Cuadros 3

Lista de Figuras **3**

Lista de siglas y acrónimos **4**

1. Justificación **5**

2. Objetivo general y objetivos específicos **5**

3. Marco de Referencia Teórico **5**

4. Materiales y Métodos **16**

5. Resultados y Discusión **23**

5.1. Resultados generales **23**

5.2. Resultados por contenedor **29**

- CIVCO 30
- F2 31
- Ambiental 32
- Electromecánica 34
- Forestal 34
- Materiales 35
- Deportes 36
- Rectoría 37
- Biblioteca 38
- Transportes 39
- Comedor 40

6. Conclusiones **42**

7. Recomendaciones **43**

8. Referencias y citaciones **44**

9. Anexos 47

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Distribución de trabajo para la realización de estudio de composición de residuos sólidos. 20

Cuadro 2. Categorización de residuos y sus respectivos componentes. 22

Cuadro 3. Comparación anual de los residuos sólidos generados por componente. 25

Lista de Figuras

Fig. 1. Separación a nivel nacional en 5 categorías base, que son comunes a la mayor parte de la población, con la denominación y colores para su identificación basados en la norma INTE 12-01-08/2011. Elaboración propia. 8

Fig. 2. Ubicación de los contenedores de residuos sólidos no valorizables del Campus Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica en el año 2025. Elaboración propia. 18

Fig. 3. Ubicación de los contenedores de residuos sólidos no valorizables del Campus Central del ITCR en el año 2025 con cobertura de 100 m a la redonda. Elaboración propia. 19

Fig. 4. Composición de los residuos del 2025. 24

Fig. 5. Composición de los residuos del 2025 por contenedor. 25

Fig. 6. Comparación del aporte de cada componente por año. 27

Fig. 7. Comparación del aporte de residuos en cada contenedor por año. 29

Fig. 8. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de CIVCO. 31

Fig. 9. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de F2. 32

Fig. 10. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Ambiental. 33

Fig. 11. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Electromecánica. 34

Fig. 12. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Forestal. 35

Fig. 13. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Materiales. 36

Fig. 14. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Deportes. 37

Fig. 15. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Rectoría. 38

Fig. 16. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de la biblioteca. 39

Fig. 17. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Transporte. 40

Fig. 18. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor del comedor. 41

Fig. 19. Guantes y papel cartón mezclados con agentes químicos o biológicos. 47

Fig. 20. Material biodegradable contaminado mezclado con toallas sanitarias usadas. .. 47

Fig. 21. Papel higiénico como material bioinfeccioso mezclado con papel cartón y bolsa plástica. 48

Fig. 22. Bolsas completas con residuos de poda y mantenimiento a jardines o zonas verdes en el contenedor del Edificio F2. 48

Fig. 23. Plásticos diversos encontrados y categorizados. 48

Fig. 24. Polilaminados encontrados junto a plástico y cartón. 49

Fig. 25. Latas de aluminio separadas durante muestreo. 49

Fig. 26. Residuos peligrosos encontrados. 49

Fig. 27. Integrante del estudio realizando muestreo en contenedor del edificio F2. 50

Fig. 28. Contenedor empleado para recolección en la zona de rectoría junto a 50,4 kilogramos de material muestreado. 50

Lista de siglas y acrónimos

TEC: Instituto Tecnológico de Costa Rica

RRSS: Residuos sólidos

GIRS: Gestión Integral de Residuos Sólidos

Justificación

El estudio de composición de residuos sólidos es esencial para evaluar el desempeño de la gestión ambiental institucional, especialmente en cuanto al control de indicadores de generación de residuos no valorizables y la efectividad de los esfuerzos de separación por parte de la comunidad institucional. El último estudio de composición se realizó en el año 2018, por lo que los datos disponibles no reflejan las condiciones actuales, considerando los cambios en hábitos de consumo, políticas internas de sostenibilidad en la institución o bien, en los servicios de recolección y manejo de residuos.

Actualizar esta información es crucial no solo para garantizar una apropiada planificación y toma de decisiones, sino para también cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de forma más representativa.

2. Objetivo general y objetivos específicos

Objetivo general

Analizar y valorar la administración de los residuos sólidos del campus Central del Tecnológico de Costa Rica, a través de un análisis de la composición de los residuos.

Objetivos específicos

- Contrastar los hallazgos con los datos obtenidos en estudios de composición de residuos previos realizados en el Tecnológico de Costa Rica.
- Identificar los principales tipos de residuos generados en el TEC.
- Proponer sugerencias y estrategias para optimizar el manejo de residuos en el campus central del TEC.

3. Marco teórico

Es fundamental la comprensión de ciertos conceptos que se relacionan con el ámbito de los residuos sólidos (RRSS) y la normativa vigente en el país para así asimilar

satisfactoriamente la presente investigación. Seguidamente, se detallan los puntos esenciales en relación con los RRSS.

- **Conceptualización de residuos**

Inicialmente, la definición de residuos puede ser distinta según el autor o estudio en que se encuentre. Dicho esto, según la legislación costarricense, específicamente la Ley N°8839 (Ley para la Gestión Integral de Residuos), define como residuo todo "*material sólido, semisólido, líquido o gas, cuyo generador o poseedor debe o requiere deshacerse de él y que puede o debe ser valorizado o tratado responsablemente o, en su defecto, ser manejado por sistemas de disposición final adecuados".* Por otra parte, Enger & Smith (2006), citado por (Sáez & Urdaneta, 2014), mencionan que los residuos sólidos se conforman por materiales que personas de una región, no desean debido a que se encuentran descompuestos, no tienen otro uso o valor.

La generación de estos residuos sólidos y su inadecuada disposición, especialmente en países en vías de desarrollo, implica un gran problema ambiental que se ve directamente relacionado a la contaminación de diversas matrices ambientales (Kühn et al., 2024). Asimismo, en la actualidad la generación de estos residuos se da en grandes magnitudes debido al aumento de la población y el consumo excesivo de bienes, por lo que la gestión eficaz de estos debe contemplar un control en la generación y mitigar las pérdidas de material medio ambiental a lo largo del proceso de recuperación de recursos (Hidalgo-Crespo et al., 2024).

- **Problemática de los residuos sólidos**

La creciente producción y manejo inadecuado de residuos sólidos representan una de las problemáticas principales a nivel mundial, produciendo afectaciones en diversas áreas de forma simultánea, como lo son la salud pública, política, aspectos sociales y económicos. Esto porque conforme crece la población, el consumo y actividades humanas, también lo hace la cantidad y diversidad de residuos generados, lo que plantea muchos desafíos significativos para los sistemas de gestión pública y privada.

Uno de los aspectos más significativos es que una gran parte de los residuos generados, no son valorizados adecuadamente. En muchos casos, estos son mezclados y enviados directamente a rellenos sanitarios o, en el peor de los casos, a vertederos sin ningún tipo de control. Dando paso a que se ponga en riesgo la salud poblacional y medioambiental de las zonas cercanas, esto por la emisión de sustancias químicas peligrosas y la proliferación de vectores de enfermedades (Rejeb et al., 2025).

Por otra parte, un manejo inadecuado de los residuos sólidos altera el paisaje de los lugares para la disposición final. Afectando de forma significativa ecosistemas y comunidades cuyo principal ingreso económico es el turismo. Ante la carente separación de residuos en la fuente, escasa educación ambiental y la limitada infraestructura para actividades de reciclaje y valorización, hacen que esta situación se agrave cada vez más.

- **Categorías para la separación de los tipos de residuos**

La Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (ENSRVR) establece un sistema de clasificación de residuos que facilita su manejo adecuado y promueve una gestión integral conforme a la Ley N° 8839 para la Gestión Integral de Residuos. Esta clasificación es fundamental en estudios de caracterización, ya que permite analizar la composición y volumen de cada tipo de residuo con criterios estandarizados a nivel nacional (Ministerio de Salud de Costa Rica, 2016).

- **Categorías base:**

1. Orgánicos: residuos compostables de origen vegetal, como restos de frutas, verduras, cáscaras y residuos de jardín. Se excluyen los restos de alimentos de origen animal.

2. Envases: incluye envases de plástico y tetra-pak, limpios y secos. Se clasifican además los tipos de plástico como polietileno, PVC, poliestireno, entre otros, siempre que estén libres de residuos peligrosos o sustancias orgánicas. Así también como pichingas, galones y cubetas plásticas.

3. Aluminio: comprende latas y envases de aluminio, latón y hojalata utilizados en bebidas o alimentos, limpios y secos.

4. Papel y cartón: abarca papel reciclable y cartón limpio y seco, tales como hojas, folders, revistas, cajas y tubos de cartón. Se excluyen los papeles sucios, encerados o con residuos orgánicos.

5. Residuos ordinarios (no valorizables): residuos no peligrosos que no tienen alternativas viables de recuperación, como papel o cartón sucio, residuos del barrido, tela, servilletas usadas y residuos sanitarios. Estos residuos deben disponerse en rellenos sanitarios bajo medidas de control ambiental.

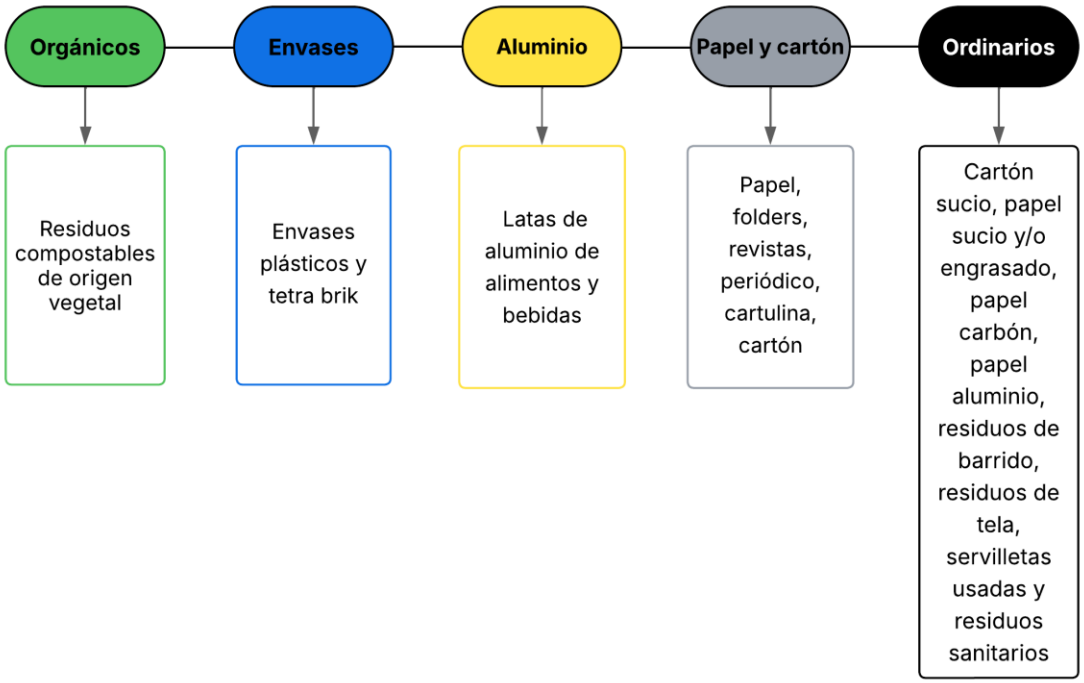


Fig. 1. Separación a nivel nacional en 5 categorías base, que son comunes a la mayor parte de la población, con la denominación y colores para su identificación basados en la norma INTE 12-01-08/2011. Elaboración propia.

- **Categorías adicionales**

6. Vidrio: se separan los envases de vidrio de cualquier color, excepto vidrios planos, cerámica o espejos.

7. Residuos bioinfecciosos: se gestionan conforme a normativa específica, como el Decreto N° 39965-S, con énfasis en seguridad para los recolectores. Es requisito que sean autoclavados para una correcta esterilización como pretratamiento.

8. Residuos de manejo especial: son aquellos que, sin ser peligrosos, necesitan un tratamiento específico debido a su tamaño o composición. En esta categoría se incluyen llantas, baterías, electrodomésticos, aparatos electrónicos, fluorescentes, estereofón, colchones, entre otros.

9. Residuos peligrosos: representan un riesgo significativo para la salud humana y el ambiente, por lo que requieren un manejo especializado. En este grupo se encuentran las pilas y baterías (que contienen metales pesados como plomo y mercurio), los residuos electrónicos (computadoras, celulares), medicamentos vencidos, aceites usados (de cocina o automotriz) y productos químicos (pinturas, solventes, pesticidas).

- **Manejo de los residuos sólidos**

El manejo de los residuos sólidos se define como las diferentes actividades técnicas u operativas que abarcan la manipulación, el acondicionamiento y tratamiento de los residuos, involucrando a las autoridades competentes y a los sectores tanto público y privado. Este proceso comprende varias etapas fundamentales:

1. **Generación:** Corresponde a la producción de los residuos sólidos como resultado de actividades humanas cotidianas o productivas.
2. **Almacenamiento:** Tras su generación, los residuos se deben almacenar temporalmente antes de ser recolectados por las autoridades municipales o empresas encargadas del servicio.
3. **Recolección y transporte:** Esta etapa puede variar dependiendo de la zona geográfica e implica consideraciones como la frecuencia de recolección, ubicación de centros de acopio, rutas y capacidad logística.

4. **Tratamiento:** Existen distintas alternativas de tratamiento según el tipo de residuo, se pueden incluir métodos térmicos, biológicos y mecánicos. El objetivo principal es la modificación de las características de los residuos para reducir su impacto ambiental.
5. **Disposición final:** Se refiere a la última etapa del proceso, en el país se da generalmente mediante rellenos sanitarios o vertederos, cuando ya no es posible aplicar algún tipo de tratamiento o valorización adicional.

Una estrategia eficaz para optimizar el manejo de los residuos sólidos es la pirámide de jerarquización de residuos: Evitar, reducir, reutilizar, valorizar (reciclar y coprocesamiento), tratar y disposición final (Maridueña et al., 2016). Estas acciones permiten minimizar la cantidad de residuos generados y fomentar un uso racional de los recursos.

En países tropicales particularmente, la fracción orgánica suele representar el mayor porcentaje de los residuos sólidos generados por esto es que el compostaje se presenta como una alternativa adecuada para su gestión. Este proceso permite transformar los desechos orgánicos en abono, reduciendo así la cantidad de residuos que terminan en rellenos sanitarios.

El manejo adecuado de los residuos sólidos conlleva una serie de beneficios tanto ambientales como sociales, se pueden destacar los siguientes:

1. Reducción del impacto ambiental asociado a los residuos.
2. Disminución de los gases de efecto invernadero (GEI).
3. Generación de oportunidades de empleo relacionadas con la gestión y valorización de residuos.

- **Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS)**

La gestión integral de residuos sólidos (GIRS) es un enfoque que considera de forma articulada todos los procesos relacionados con el manejo de los residuos, desde su generación hasta su disposición final, en este se incluyen aspectos operativos, administrativos, financieros, sociales y ambientales. Para que esta gestión sea efectiva, es necesario tomar en cuenta a todos los actores involucrados: desde el generador de residuos, pasando por el operador encargado de la recolección, tratamiento y financiamiento del sistema, hasta la instancia responsable de su disposición final.

Además, se debe considerar el impacto potencial que esta última etapa puede tener sobre las comunidades cercanas a los sitios de disposición (Jaramillo, 2002). Por eso, la GIRS es una base fundamental para el diseño de sistemas eficientes de manejo, así como para optimizar los ya existentes.

En este sentido, Costa Rica ha establecido el marco legal correspondiente mediante la ley N° 8839 "Ley para la Gestión Integral de Residuos", que define esta gestión como: *"Conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final."*

Según Jaramillo (2002), la gestión integral de los residuos puede sustentarse en varias actividades que permiten establecer un sistema eficiente y ambientalmente responsable:

1. Reducción en la fuente: Busca minimizar la generación de residuos desde el origen, por medio de estrategias como el diseño de productos más duraderos o el uso de envases con menor volumen. La reducción de residuos generados conlleva una disminución en los costos de manejo y en los impactos negativos sobre el ambiente.
2. Reciclaje y separación: Consiste en la clasificación de residuos según su tipo y composición, esto para facilitar el aprovechamiento de materiales reciclables tales como el papel, vidrio, plástico y metales. Esta práctica no solo permite recuperar materias primas, sino que también reduce significativamente el volumen de residuos destinados a la disposición final.

3. Tratamiento: A través de diversos procesos físicos, químicos o biológicos, los residuos pueden ser tratados y convertidos en productos menos peligrosos o más fáciles de manejar. Un ejemplo de esto puede ser el compost o el tratamiento térmico de ciertos residuos mediante tecnologías adecuadas como co-procesamiento térmico, pirólisis o gasificación.
4. Disposición final: Es la etapa final del proceso de gestión, debe realizarse en condiciones que minimicen los impactos sobre el ambiente, paisaje y salud pública. El uso de rellenos sanitarios con sistemas de manejo de lixiviados y gases es fundamental para evitar la contaminación del suelo, agua y aire.

La GIRS no solo busca controlar y minimizar los impactos negativos de los residuos, sino también fomentar una cultura enfocada en la sostenibilidad, participación ciudadana y corresponsabilidad ambiental.

- **Estudio de Generación y Composición de Residuos Sólidos Ordinarios**

Con el objetivo de brindar una adecuada GIRS, resulta esencial conocer su composición y características, así como variables que inciden directamente en su generación, tales como la cantidad de población y la producción per cápita. Para ello, se desarrollan estudios de caracterización de residuos sólidos ordinarios, los cuales permiten generar información técnica útil para la toma de decisiones en materia de recolección, aprovechamiento y disposición final de los residuos.

Según el Decreto Ejecutivo N.º 37745-S, esta metodología tiene como finalidad servir de guía para que las municipalidades realicen estudios que cuantifiquen la generación y la composición física de los residuos sólidos ordinarios, es decir, aquellos no peligrosos ni sujetos a regulaciones especiales. Los resultados obtenidos son fundamentales para la planificación local, el fortalecimiento de los sistemas de recolección y la promoción de programas de valorización de residuos.

Según el Ministerio de Salud de Costa Rica (2013) un estudio de caracterización bajo esta metodología contempla una serie de etapas, las cuales se describen a continuación:

1. **Zonificación del área de estudio:** se divide el cantón o área de análisis en zonas homogéneas con características similares (densidad poblacional, condiciones socioeconómicas, tipo de generación, entre otras), lo cual permite garantizar una muestra representativa.
2. **Identificación de la zona actual:** se seleccionan y describen las zonas específicas que formarán parte del estudio, priorizando aquellas que permitan obtener datos comparables y útiles para el diseño de estrategias de gestión.
3. **Determinación del número de muestras**: el número de muestras a recolectar se establece con base en criterios de representatividad estadística, según el tipo de generador y la cantidad de residuos esperados.
4. **Distribución de las muestras:** las muestras se distribuyen equitativamente entre las zonas definidas, procurando cubrir distintos sectores generadores (residencial, comercial, institucional, etc.).
5. **Determinación del punto de muestreo:** los residuos se recolectan preferiblemente en el sitio donde se generan (vivienda, comercio, institución) o en centros de acopio, según lo permita la logística del estudio.
6. **Capacitación de la población:** se recomienda informar a la población participante sobre la metodología de recolección y el manejo de residuos durante el periodo de muestreo, con el fin de evitar errores en la clasificación o mezcla de residuos.
7. **Toma de muestras:** los residuos se recolectan siguiendo un procedimiento uniforme, utilizando bolsas o recipientes previamente rotulados. Las muestras deben representar los residuos generados en un periodo de 24 horas.
8. **Determinación de la producción per cápita:** se calcula el promedio de residuos generados por persona al día, dividiendo el peso total de residuos recolectados entre el número de habitantes representados en la muestra. Las unidades utilizadas son kg residuos / habitante.
9. **Determinación de la densidad de los residuos sólido:** se mide la densidad de los residuos mediante el uso de un recipiente de volumen conocido, en el cual se pesa el contenido para obtener la relación peso/volumen (kg/m^3).

10. **Composición física:** las muestras se separan manualmente en diferentes fracciones (orgánicos, papel, cartón, vidrio, plástico, metales, otros), las cuales se pesan por separado para determinar su porcentaje dentro del total de residuos recolectados.

- **Estado de la situación de la gestión integral de residuos en Costa Rica**

La GIRS en Costa Rica ha evolucionado significativamente, a pesar de contar con un marco normativo cada vez más robusto, aún persisten desafíos importantes relacionados con la cobertura del servicio, la valorización de residuos y la cultura ciudadana. Históricamente, la Ley General de Salud (1973) estableció la obligatoriedad del tratamiento y disposición adecuada de los residuos sólidos.

No obstante, fue con la promulgación de la Ley N.º 8839 para la Gestión Integral de Residuos en 2010, que se introdujo un enfoque más estructurado, el cual ha sido reforzado mediante estrategias y planes específicos como el Plan Nacional GIR, la Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos (2016), y el Plan de Descarbonización (2018).

Según datos del Ministerio de Salud (2022), en el año 2021 se generó aproximadamente 1,6 millones de toneladas de residuos sólidos ordinarios, de los cuales un 82% provino de hogares y el resto de los sectores como comercios, hospitales, instituciones y centros educativos. A pesar de este volumen, solo el 41% de la población reporta separar plástico, vidrio y aluminio; el 35,8% separa papel, y apenas el 39% separa residuos orgánicos, lo que evidencia una limitada práctica de separación en la fuente a nivel nacional.

En cuanto a la disposición final, un 79,2% de los residuos fueron enviados a rellenos sanitarios, mientras que un preocupante 11,2% fue arrojado en sitios no controlados, como lotes baldíos, ríos o mediante quema o entierro en casas de habitación. Esto se debe, en parte, a que en 70 de los 81 gobiernos locales existen comunidades sin acceso al servicio municipal de recolección, afectando a aproximadamente 87 distritos del país (Ministerio de Salud de Costa Rica, 2022).

Respecto a los residuos valorizables, en 2021 solo se recicló el 3,9% del total de residuos generados. Entre los materiales más recuperados están el papel y cartón (32,6%), el aluminio (32,8%) y los envases de plástico (12,2%). Sin embargo, una proporción significativa de estos residuos valorizables recolectados es finalmente rechazada por no estar limpios o por falta de mercado, terminando en rellenos o coprocesamiento (Ministerio de Salud de Costa Rica, 2022).

Durante la pandemia de COVID-19 (2020-2021), la dinámica de generación de residuos cambió. Disminuyó la producción en sectores como hoteles, escuelas y restaurantes, mientras que aumentó en viviendas, supermercados y centros de salud. Esta situación, junto a la crisis económica, provocó un aumento en los residuos domiciliarios y cambios en las prácticas de consumo, elevando la generación de residuos orgánicos y empaques (Ministerio de Salud de Costa Rica, 2022).

Finalmente, aunque algunos municipios han iniciado proyectos piloto de compostaje y rutas diferenciadas para residuos orgánicos, la tasa nacional de valorización aún es baja. La recolección de residuos reciclables continúa siendo una dificultad para muchas municipalidades, que enfrentan limitaciones presupuestarias y logísticas para ampliar sus centros de recuperación.

- **Legislación sobre residuos sólidos vigente en Costa Rica**

Costa Rica cuenta con un conjunto de leyes y reglamentos que regulan la GIRS, con el objetivo de proteger la salud pública y el ambiente. A continuación, se presenta los principales instrumentos jurídicos vigentes relacionados con este estudio:

1. **Ley para la Gestión Integral de Residuos (Ley N.º 8839)**
2. **Decreto Ejecutivo N.º 36093-S – Reglamento sobre el Manejo de Residuos Sólidos Ordinarios**
3. **Ley N.º 9786 – Ley para Combatir la Contaminación por Plástico y Proteger el Ambiente**
4. **Ley N.º 9703 – Ley para la Prohibición del Poliestireno Expandido**
5. **Decreto Ejecutivo N.º 33745-S – Reglamento sobre Llantas de Desecho**

6. **Decreto Ejecutivo N.º 38272-S – Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial**
7. **Decreto Ejecutivo N.º 30965-S – Reglamento sobre la Gestión de los Desechos Infectocontagiosos en Establecimientos de Salud.**
8. **Decreto Ejecutivo N.º 36039-S – Reglamento para la Disposición Final de Medicamentos, Materias Primas y sus Residuos**
9. **Decreto Ejecutivo N.º 41527-S-MINAE – Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos**

4. Materiales y Métodos

- **Alcance**

El estudio sobre la composición de residuos sólidos no valorizables abarcó todos los contenedores presentes en el Campus Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica, con la excepción de los ubicados en las Residencias Estudiantiles y en el Departamento de Aprovisionamiento. Esto se debe a que los residuos generados en las residencias tienen características propias de residuos residenciales, mientras que el Departamento de Aprovisionamiento está cerrado actualmente, lo que hace que su contenedor esté fuera de servicio. Se consideraron los siguientes contenedores:

a. Escuela de Ingeniería Ambiental
b. Biblioteca José Figueres Ferrer
c. Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (CIVCO)
d. Restaurante institucional (Comedor)
e. Deportes
f. Escuela de Ingeniería Electromecánica
g. Edificio F2
h. Escuela de Ingeniería Forestal

i. Escuela de Ingeniería en Materiales

j. Rectoría

k. Transportes

A continuación, se presentan dos figuras. La Figura 2 muestra la ubicación exacta de los contenedores de residuos sólidos no valorizables en el Campus Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Esta representación proporciona una visión clara y general de los puntos de recolección, lo que facilita el análisis de su distribución espacial en el campus.

Por otro lado, la Figura 3 muestra la distribución de los contenedores de residuos sólidos no valorizables ubicados en la institución, considerando un radio de cobertura de 100 metros alrededor de cada punto. Las áreas circulares permiten visualizar el alcance espacial de cada contenedor, facilitando el análisis de cobertura, accesibilidad y posibles zonas sin servicio. Este enfoque es útil para planificar rutas de recolección eficientes y evaluar la necesidad de reubicación o instalación de nuevos contenedores.

El estudio de la composición de residuos se llevó a cabo de acuerdo con los horarios establecidos en el Cuadro 1, con la participación de 7 estudiantes del curso de Gestión y Tratamiento de Residuos Sólidos de la carrera de Ingeniería Ambiental en colaboración con personal y asistentes estudiantiles de GASEL, estudiantes de Ingeniería Ambiental y estudiantes de Química Básica I, quienes se organizaron en subgrupos de trabajo para abarcar todos los muestreos necesarios.

Los días de muestreo —martes, jueves y sábado— se establecieron de esta manera porque la empresa gestora encargada de la recolección y transporte de residuos sólidos no valorizables realiza su labor los lunes, miércoles y viernes. Así, los días seleccionados permiten un control adecuado para determinar el periodo de muestreo más representativo.

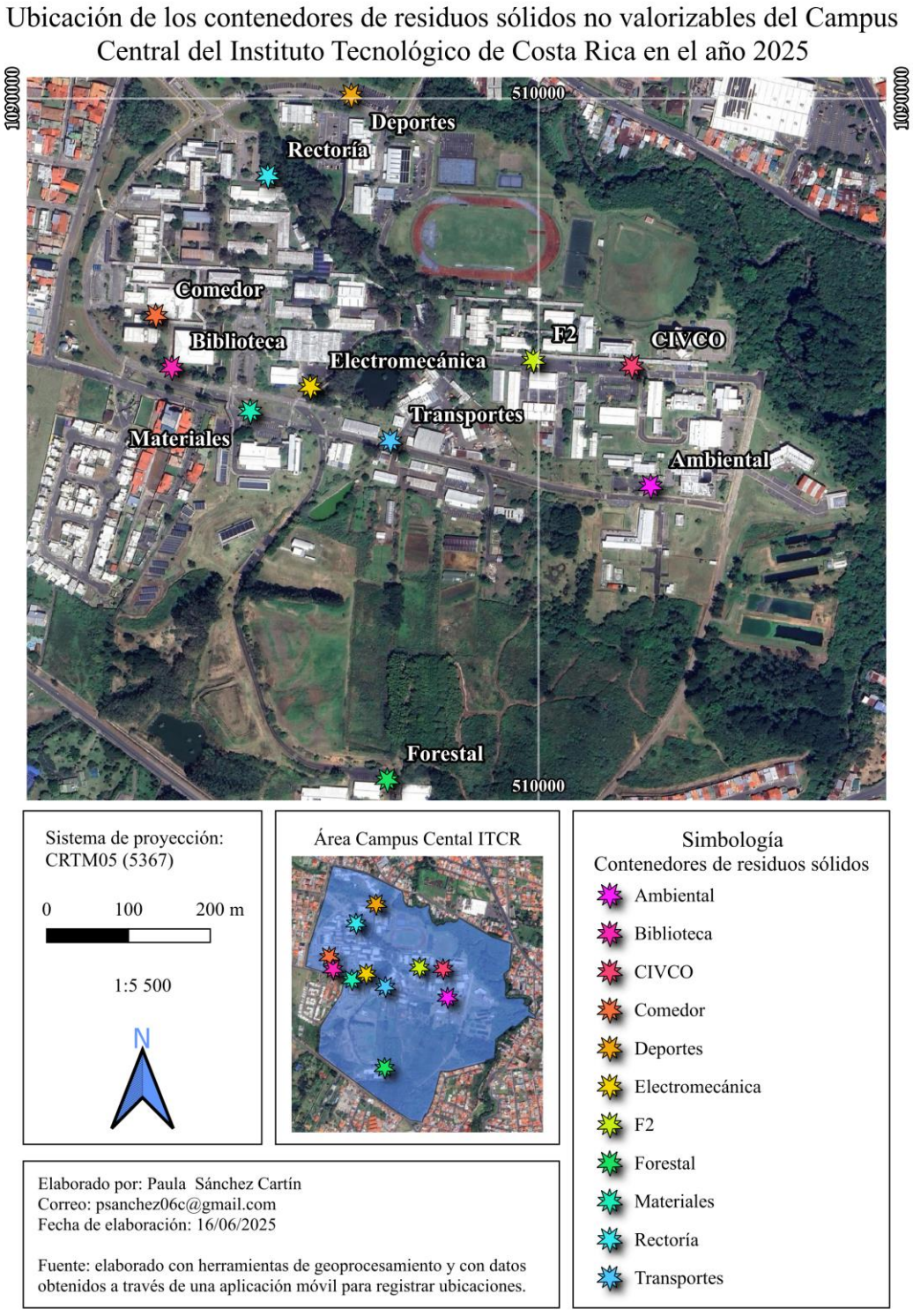


Fig. 2. Ubicación de los contenedores de residuos sólidos no valorizables del Campus Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica en el año 2025. Elaboración propia.

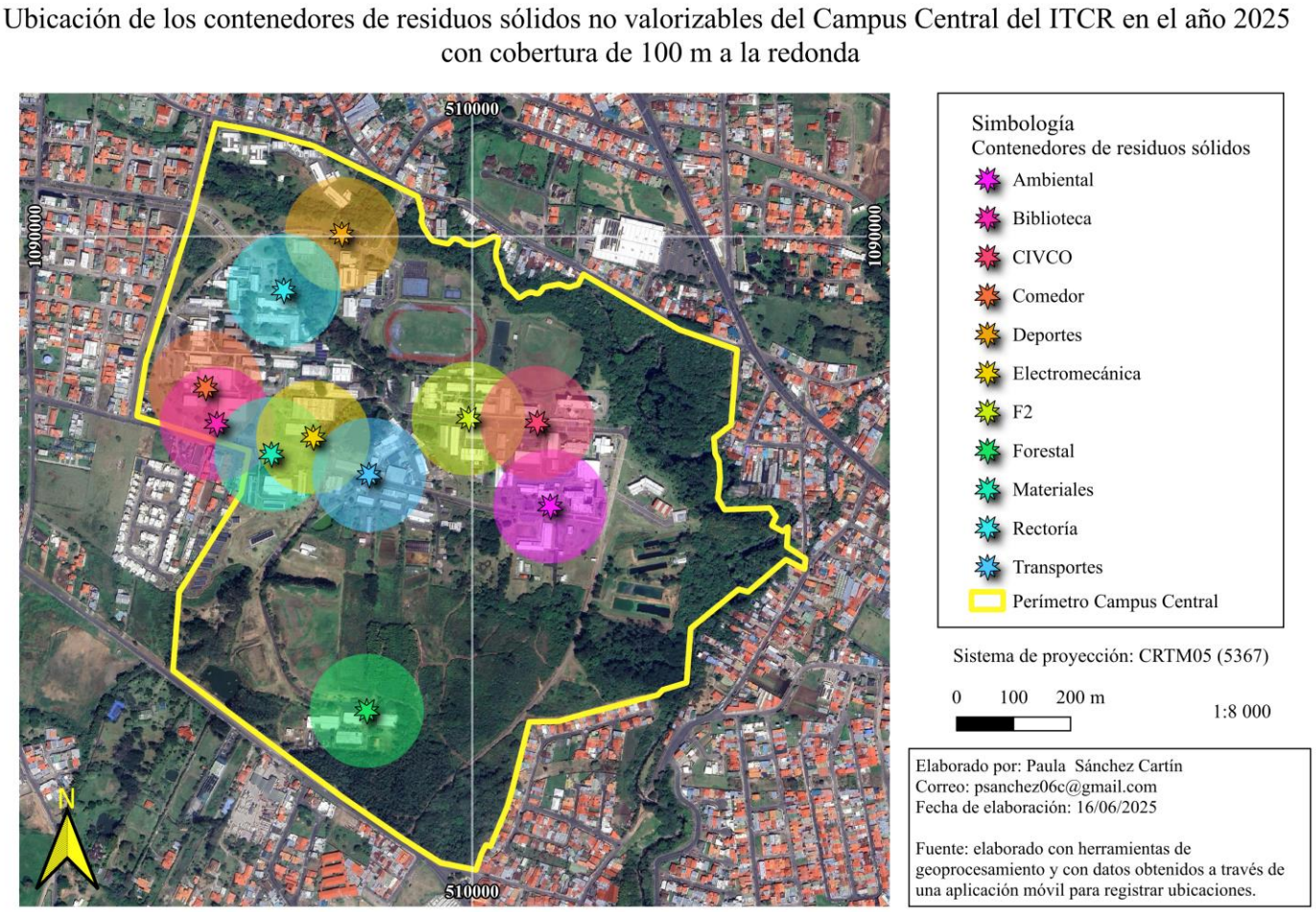


Fig. 3. Ubicación de los contenedores de residuos sólidos no valorizables del Campus Central del ITCR en el año 2025 con cobertura de 100 m a la redonda. Elaboración propia.

Cuadro 1. Distribución de trabajo para la realización de estudio de composición de residuos sólidos.

Contenedor	Ambiental	F2	CIVCO	Rectoría	Materiales	Electromecánica	Forestal	Comedor	Transportes	Biblioteca	Deportes	Biblioteca	Deportes
Horario	Martes 1 de abril			Martes 22 de abril				Martes 13 de mayo				Martes 20 de mayo	
	3:00pm - 5:00 pm	5:00pm - 7:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	5:00pm - 7:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	5:00pm - 7:00 pm	3:00 pm - 5:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	5:00 pm - 7:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	5:00 pm - 7:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	3:00pm - 5:00 pm
Encargados	Valeria Arce Nazareth Moya Kaleb Granados	Valeria Arce Sharon Láscarez Milagro Quirós Nazareth Moya	Sharon Láscarez Milagro Quirós	Valeria Arce Sharon Láscarez	Paula Sánchez Nazareth Moya	Paula Sánchez Mariangel Maffioli Paula Gómez	Sharon Láscarez Milagro Quirós Paula Gómez Alina Rodríguez	Mariangel Maffioli Camila Cèspedes Ricardo Chaves Matías Sánchez	Valeria Arce Nazareth Hernández Jorge Fuentes	Valeria Arce Yerald Rojas José Alvarado Elías Navarro	Sharon Láscarez Natalia Hernández Gabriel Fuentes	Kaleb Granados Armando Arias Paz Sevilla	José Gómez M. Fernanda Muñoz
Horario	Jueves 3 de abril			Jueves 24 de abril				Jueves 15 de mayo				Jueves 22 de mayo	
	3:00pm - 5:00 pm	5:00pm - 7:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	5:00pm - 7:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	5:00pm - 7:00 pm	3:00 pm - 5:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	5:00 pm - 7:00 pm	5:00 pm - 7:00 pm	3:00pm - 5:00 pm	3:00pm - 5:00 pm
Encargados	Paula Sánchez José Gómez	Paula Sánchez José Gómez	Valeria Arce Nazareth Moya	Paula Sánchez Mariangel Maffioli Paula Gómez	Paula Sánchez José Ortiz Doryan Chacón José Rosales	Kaleb Granados Belén Arguello Francisco Soza	Atahualpa Pérez Kaleb Granados Belén Arguello	Valeria Arce Bianca Grijalba	José Gómez Jaslinm Rodríguez	Muestreo cancelado por fuertes lluvias	Muestreo cancelado por fuertes lluvias	Nazareth Moya José Gómez Eduardo Garnier	Milagro Quirós Kaleb Granados Alberto Trejos
Horario	Sábado 5 de abril			Sábado 26 de abril				Sábado 17 de mayo				Sábado 24 de mayo	
	2:00 pm - 4:00 pm	12:00 md - 2:00 pm	2:00 pm - 4:00 pm	12:00 md - 2:00 pm	2:00 pm - 4:00 pm	12:00 md - 2:00 pm	2:00 pm - 4:00 pm	12:00 md - 2:00 pm	2:00 pm - 4:00 pm	12:00 md - 2:00 pm	2:00 pm - 4:00 pm	11:00 pm - 1:00 pm	11:00 pm - 1:00 pm
Encargados	Paula Sánchez José Gómez	Paula Sánchez José Gómez	Sharon Láscarez Milagro Quirós Valeria Arce	Angélica Astorga José Gómez Andrés García	José Gómez Nazareth Moya Anthony Chan Amanda Soto	Sharon Láscarez Milagro Quirós Kaleb Granados	Sharon Láscarez Milagro Quirós Kaleb Granados Gabriel Cortez	Nazareth Moya Donald Oporta Sara Mora Alejandro Esquivel	Nazareth Moya Matías Arias Yariana Orozco	Muestreo cancelado debido a la interrupción en la continuidad de los datos	Muestreo cancelado debido a la interrupción en la continuidad de los datos	Kaleb Granados Nazareth Hernández	Milagro Quirós Natalia Hernández Alejandro Vega Roberth Chacón

- **Materiales**
    - Bolsas plásticas.
    - Equipo de protección personal (guantes, mascarillas, gabacha, zapatos de caña alta o botas de hule).
    - Lona para impermeabilizar el área de trabajo.
    - Balanza (sensible a miligramos).
    - Formulario para reporte de datos.
    - Lapicero.
    - Alcohol en gel y jabón antibacterial.

- **Procedimiento**

1. Recolectar todos los residuos sólidos del contenedor y trasladarlos a un área de trabajo adecuada, que debe ser cubierta y pavimentada, o bien contar con plástico o lona para evitar el contacto directo de los residuos con el suelo.
2. Pesar todas las bolsas de residuos y registrar el peso total de los desechos del contenedor.
3. Si el peso total de los residuos del contenedor es menor de 250 kg, se debe muestrear la totalidad de los residuos y proceder a su categorización.

   Si el peso total de los residuos del contenedor supera los 250 kg, se debe seguir el siguiente subprocedimiento de cuarteo:

    a. Dividir el montículo de residuos en cuatro partes iguales.
    b. Formar un nuevo montículo con dos secciones opuestas.
    c. Dividir este nuevo montículo en cuatro partes iguales.
    d. Seleccionar dos secciones opuestas y formar otro montículo.
    e. Repetir este proceso hasta obtener una muestra final de al menos 50 kg.
    f. Proceder a su categorización.
4. Separar los componentes de la muestra en bolsas, asegurándose de que cada categoría se disponga en una bolsa por separado, según las siguientes categorías:

a. Vidrio
b. Textiles, cuero y hule
c. Residuos orgánicos y biodegradables
d. Residuos peligrosos
e. Residuos electrónicos
f. Polilaminados (Tetrapak)
g. Plásticos
h. Metales
i. Papel y cartón
j. Otros componentes

En el siguiente cuadro se detallan los tipos de residuos que corresponden a cada categoría.

Cuadro 2. Categorización de residuos y sus respectivos componentes.

Categoría	Materiales
Vidrio	Botellas, cristalería, vidrio plano, entre otros materiales con composición similar.
Textiles, cuero y hule	Retazos de tela y cuero, piezas de ropa, bolsos, zapatos de cuero, hule en general.
Residuos orgánicos y biodegradables	Restos de comida y residuos orgánicos. Se realiza la separación con el fin de obtener datos de cuánto material podría ser provechado para la elaboración de compost.
Residuos peligrosos	Baterías secas, restos de medicamentos, envases de productos de limpieza, envases de pintura, cartuchos y tóner de impresora, envases de lubricantes, insecticidas, bombillos, y recipientes con trazas de productos químicos o cosméticos entre otros materiales con composición similar.
Residuos electrónicos	Monitores, pantallas planas, computadoras, baterías de computadoras, celulares o UPS, cargadores, escáner, teléfonos celulares, impresoras, cámaras fotográficas, calculadoras, entre otros materiales con composición similar.
Polilaminados (Tetrapak)	Envases de tetrapak.
Plásticos	Envases, bolsas, elementos elaborados en plástico, recipientes.
Metales	Aluminio, latas de alimentos, trozos de varillas, alambres, chatarra en general.
Papel y cartón	Papel blanco, de color, periódico, cartón liso y corrugado, papel chino, papel de regalo, entre otros materiales con composición similar.
Otros componentes	Material fino como polvo de barrido, residuos sanitarios (papel higiénico, pañales), inertes, escombros, madera, empaques metalizados, estereofón, residuos voluminosos.

5. Resultados y Discusión

5.1. Resultados generales

Durante el estudio de composición de residuos sólidos, se muestrearon un total de 1920 kilogramos, lo cual permitió proyectar una producción anual estimada de 92 142 kilogramos de residuos que actualmente se envían al relleno sanitario. Esta cantidad corresponde a una población total de 5264 personas (1629 funcionarios y 3635 estudiantes), lo que equivale a una producción per cápita de aproximadamente 0.365 kilogramos por persona por semana, o 0.061 kilogramos por persona por día, considerando una jornada de 6 días semanales (dado que el campus permanece activo con actividades académicas de lunes a sábado, y no se imparten clases los domingos). Estos valores permiten dimensionar el impacto individual en la generación de residuos dentro del campus, y ofrecen una base para diseñar estrategias de reducción y valorización más efectivas.

La composición de los residuos muestreados se presenta en la Fig. 44. En un escenario ideal, el 100 % de los residuos deberían pertenecer a la categoría de “Otros componentes”, es decir, aquellos que no pueden ser valorizados. Sin embargo, el análisis reveló que casi la mitad de los residuos tienen potencial de valorización. Dentro de estos, resalta la presencia significativa de residuos biodegradables, a pesar de que el TEC dispone de una compostera industrial que podría procesarlos adecuadamente. Asimismo, se identificó una alta proporción de residuos plásticos, lo cual resulta contradictorio dado que no se permite la venta de plásticos de un solo uso en el campus. Estos hallazgos subrayan la necesidad de fortalecer la separación en la fuente, la educación ambiental y las prácticas de gestión interna, con el fin de reducir la cantidad de residuos enviados al relleno sanitario y mejorar el aprovechamiento de materiales valorizables.

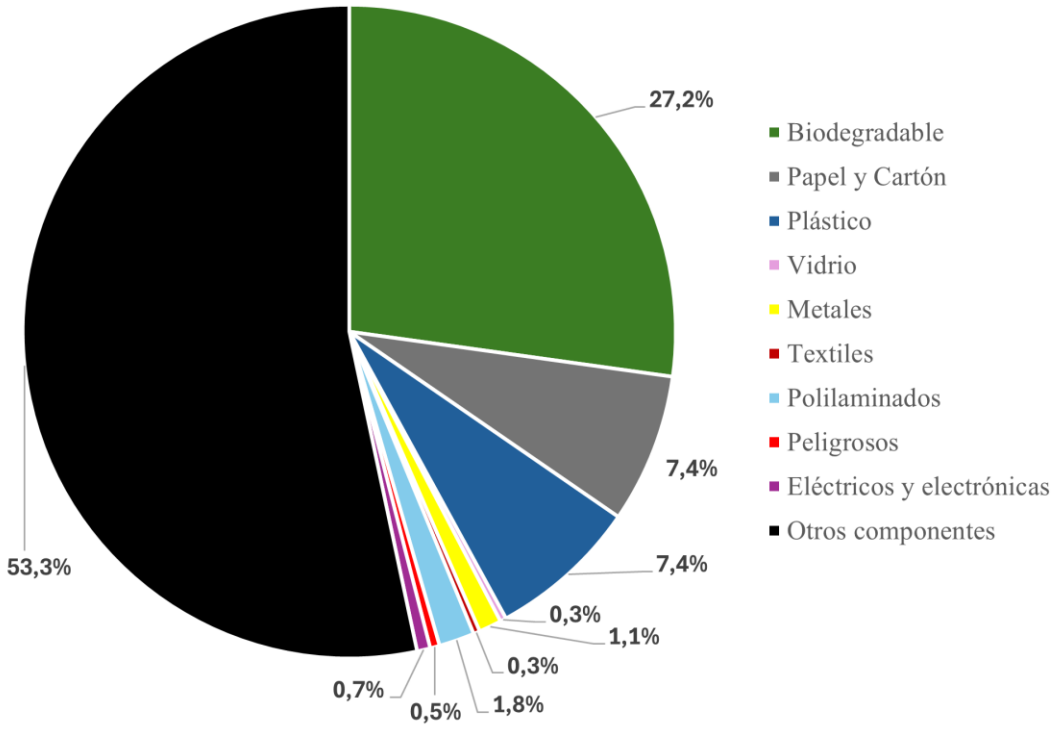


Fig. 44. Composición de los residuos del 2025.

La composición de residuos por contenedor se presenta en la Fig. 4. En ella se evidencian diferencias significativas en la composición de los residuos entre algunos contenedores, lo cual podría atribuirse al origen heterogéneo de los residuos en el campus. Esta variabilidad depende, en gran medida, de los laboratorios y edificios ubicados en las cercanías de cada contenedor.

Por ejemplo, el contenedor de Forestal presenta una gran cantidad de residuos biodegradables debido a la influencia de la soda La Casita. Lo mismo sucedió en los contenedores de Ambiental y Deportes, donde se observó una proporción mayor al promedio de residuos biodegradables, debido a que los restaurantes cercanos envían sus residuos orgánicos a esos contenedores. Caso contrario se encuentra el contenedor de Comedor, el cual recibió poca proporción de residuos orgánicos debido a que ahí sí se separan los residuos compostables.

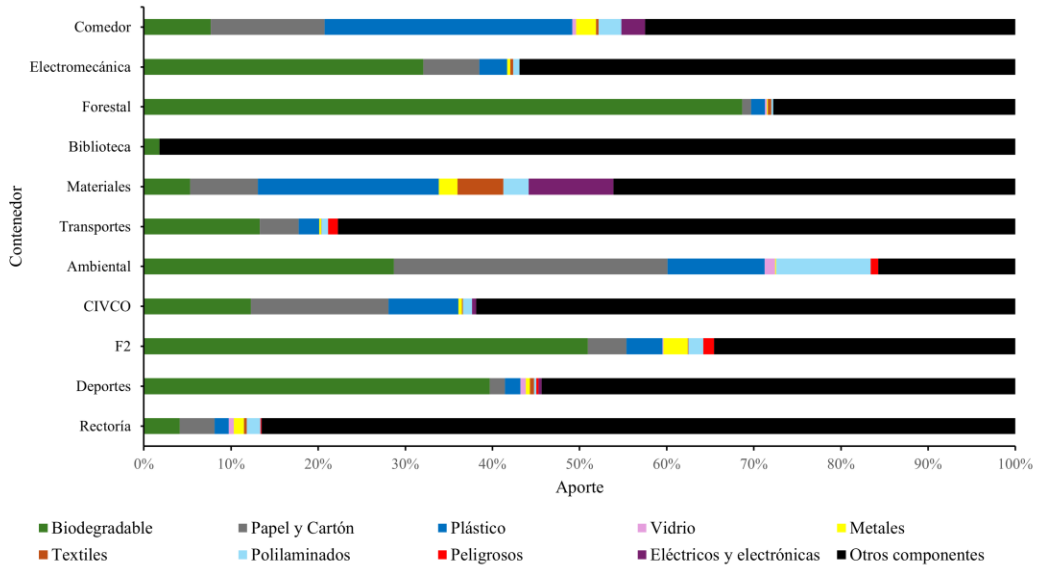


Fig. 5 5. Composición de los residuos del 2025 por contenedor.

Al comparar estos resultados con los obtenidos en los años 2016, 2018 y 2025 se muestra cambios importantes en la cantidad y el tipo de desechos producidos. Aunque la cantidad total de residuos al año se ha mantenido casi igual, la proporción en que se reparten entre las distintas categorías ha cambiado. Estos resultados se resumen en el siguiente cuadro.

Cuadro 33. Comparación anual de los residuos sólidos generados por componente.

Clasificación	Aporte			Cantidad (kg/año)			Cambio 2018-2025	Cambio 2016-2025
	2016	2018	2025	2016	2018	2025		
Biodegradable	22%	20%	27%	19 836	17 832	25 066	+41%	26%
Papel y Cartón	8%	9%	7%	6 989	8 006	6 806	-15%	-3%
Plástico	8%	3%	7%	7 021	3 062	6 861	+124%	-2%
Vidrio	0%	0%	0%	237	400	279	-30%	18%
Metales	1%	2%	1%	783	1 675	1 036	-38%	32%
Textiles	1%	1%	0%	534	517	295	-43%	-45%
Polilaminados	2%	1%	2%	1 820	710	1 620	+128%	-11%
Peligrosos	1%	2%	0%	707	2 172	434	-80%	-39%
Eléctricos y electrónicos	0%	1%	1%	331	981	605	-38%	83%
Otros componentes	59%	60%	53%	53 940	53 134	49 140	-8%	-9%
Total	**100%**	**100%**	**100%**	**92 196**	**88 491**	**92 142**	**+4%**	**0%**

A partir de estos datos, se observan aumentos en algunas fracciones como los residuos biodegradables (41% más que en el año 2018 y un 26% comparado al primer estudio del 2016) y disminuciones en generación de otras, como los residuos peligrosos que representan mayor riesgo al ambiente y textiles que son poco valorizables.

Si se considera la evolución del desecho de residuos plásticos y polilaminados en la institución, se observa que ambos presentan un patrón similar: una reducción entre los años 2016 y 2018, seguida de un aumento significativo hacia 2025. Esto sugiere que las medidas adoptadas entre 2016 y 2018 fueron efectivas en un inicio, pero no se sostuvieron ni reforzaron con el tiempo. Esta situación puede deberse a que la conciencia y cultura institucional en torno a la gestión de residuos se ve afectada por el constante flujo de personas que ingresan y egresan de la comunidad académica.

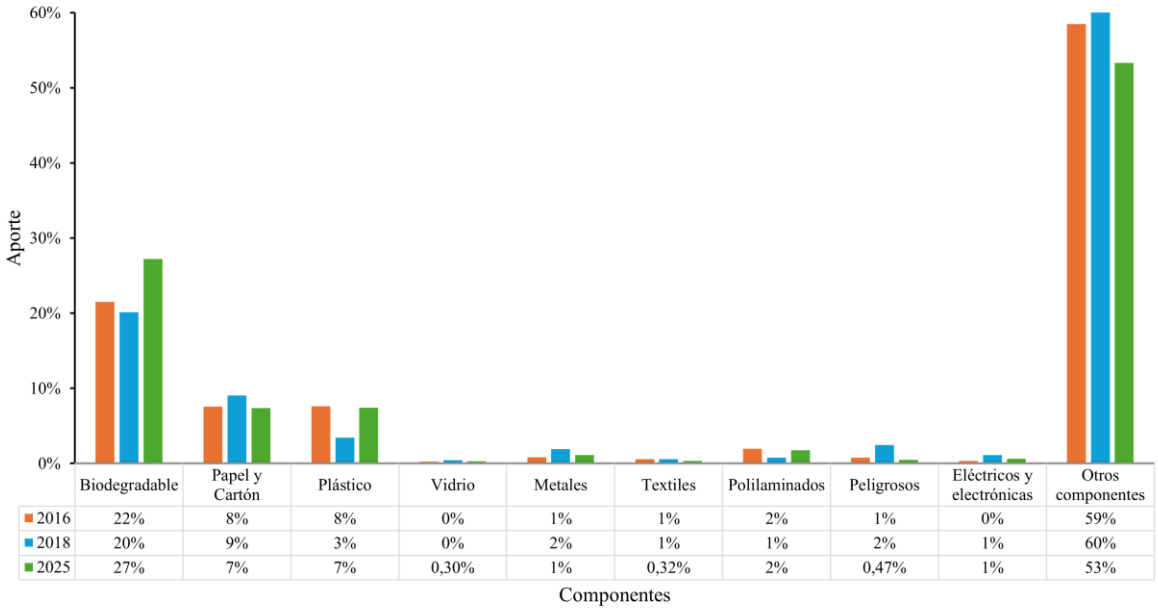
La gestión de plásticos y polilaminados continúa representando un desafío, especialmente considerando que ambos materiales tienen un bajo valor reciclable, siendo los polilaminados particularmente problemáticos.

Se ha determinado que la institución realiza la valoración y separación de residuos como plásticos de un solo uso y polilaminados, los cuales, aunque no son reciclables, se destinan a coprocesamiento u otros tratamientos, priorizando la jerarquización de residuos y minimizando su disposición en rellenos sanitarios. Sin embargo, algunos contenedores rotulados como “Plástico y Tetrapack” indican que los empaques metalizados y de alimentos no son reciclables y deben depositarse en el contenedor de “No valorizable”. Además, en algunos casos, estas instrucciones están cubiertas o no son visibles, lo que puede generar confusión entre los usuarios al momento de depositar sus residuos.

La generación de residuos de papel y cartón se ha mantenido relativamente constante a lo largo de los tres periodos evaluados. En términos de masa, en 2016 se generaron 6,989 kg, en 2018 8,006 kg y en 2025 6,806 kg, con una diferencia total de apenas –3% entre 2016 y 2025. Esto representa una variación menor, lo que indica una tendencia estable en su generación. En cuanto a su participación dentro del total de residuos, se mantiene en valores cercanos al 7–9%, consolidándose como uno de los residuos valorizables con mayor presencia en el flujo general. Este comportamiento es positivo desde una perspectiva de gestión, ya que no presenta fluctuaciones preocupantes

como ocurre con otras fracciones como plásticos o polilaminados. No obstante, esta estabilidad también invita a una reflexión: la generación constante de papel y cartón —más de 6,800 kg anuales en promedio— sugiere que todavía existen procesos institucionales que dependen en gran medida del uso de materiales impresos. Esto abre una oportunidad clara de mejora a través de la digitalización de procesos, transformando trámites, comunicaciones y archivos físicos en formatos digitales, con el fin de reducir este flujo de residuos y avanzar hacia una institución más sostenible.

El aporte porcentual de cada componente por año se puede visualizar más claramente en la siguiente figura.



	Biodegradable	Papel y Cartón	Plástico	Vidrio	Metales	Textiles	Polilaminados	Peligrosos	Eléctricos y electrónicas	Otros componentes
2016	22%	8%	8%	0%	1%	1%	2%	1%	0%	59%
2018	20%	9%	3%	0%	2%	1%	1%	2%	1%	60%
2025	27%	7%	7%	0,30%	1%	0,32%	2%	0,47%	1%	53%

Fig. 66. Comparación del aporte de cada componente por año.

La categoría de “Otros componentes” continúa representando la mayor proporción de residuos generados. No obstante, para el año 2025 se observa una disminución del 8% respecto a 2016 y del 9% respecto a 2018, lo cual evidencia una mala valorización de residuos. Este componente debería reducirse en volumen absoluto, pero aumentar proporcionalmente en la medida en que otros residuos se separen correctamente y se valoricen. Esta fracción incluye principalmente papel higiénico y otros desechos no valorizables, lo que explica su volumen base elevado. Sin embargo, su persistencia en niveles tan altos sugiere que una gran cantidad de residuos no se está clasificando de

manera adecuada o que hay una elevada proporción de residuos no aprovechables. Durante el análisis se observó que muchas bolsas destinadas a residuos sanitarios contenían también envases Tetrapack, botellas plásticas y otros residuos valorizables. No obstante, debido a que estos materiales estaban contaminados con residuos sanitarios, no fue posible determinar con precisión qué proporción correspondía realmente a residuos valorizables, lo que dificulta una correcta gestión y recuperación de materiales.

La proporción de residuos biodegradables ha aumentado con respecto al 2016 y 2018, a pesar de los esfuerzos por la separación de estos residuos en los restaurantes. Tal como se determinó en este estudio, los restaurantes privados disponen de sus residuos orgánicos en los contenedores.

La proporción de papel y cartón se ha mantenido similar a la de años anteriores, por lo que no se puede concluir que haya habido avances significativos en su reducción. Por otro lado, en 2018 se observó una disminución en la proporción de plástico, pero para 2025 se alcanzaron niveles similares a los de 2016, tanto en porcentaje como en peso.

Este 8% corresponde principalmente a materiales como guantes limpios, botellas de refresco y bolsas utilizados por las personas en la institución (Fig. 232319). En comparación con el estudio de 2018, la cantidad de residuos plásticos aumentó un 124%, lo que indica una disminución en la cultura de valorización, reúso y rechazo del plástico.

Los polilaminados y los metales alcanzaron apenas un 2% y 1%, respectivamente. Entre los polilaminados se encontraron cajas de refrescos (Fig. 24), mientras que en los metales se identificaron latas de aluminio de bebidas y atún (Fig. 25). Por su parte, categorías como vidrio (0,30%), textiles (0,32%) y residuos peligrosos (0,47%) tienen una representación poco significativa en la muestra.

En el caso del vidrio, se encontraron principalmente botellas de refresco; en textiles, se registraron una gabacha de polipropileno y trapos sucios. Entre los residuos peligrosos se identificaron empaques de medicamentos, bolsas con vidrios rotos, envases de productos de limpieza y baterías alcalinas (Fig. 26).

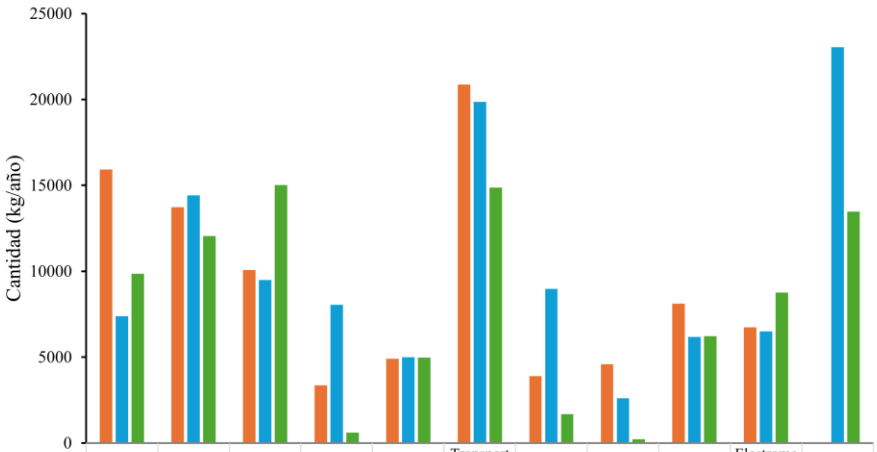
Finalmente, los residuos eléctricos y electrónicos representan aproximadamente un 1% cada uno. Se encontró una bolsa con varios residuos electrónicos en el contenedor del comedor.

Cabe resaltar que estas categorías de residuos son las que se encontraron en los diferentes contenedores, y que muchos de ellos podrían ser reciclados o valorizados energéticamente. Sin embargo, su presencia en contenedores inadecuados responde, en gran parte, a la falta de conocimiento sobre la correcta separación de residuos o a una baja conciencia ambiental por parte de los usuarios.

Estas últimas fracciones, al representar porcentajes tan bajos, pueden considerarse estadísticamente poco significativas en comparación con el total de residuos. Esto sugiere que su generación es esporádica o limitada a zonas muy específicas del campus. En el caso de los residuos peligrosos, su baja proporción podría deberse a una gestión adecuada en los laboratorios o a una baja frecuencia de uso de insumos clasificados dentro de esta categoría.

5.2.Resultados por contenedor

En relación con los aportes de cada contenedor, se observa una variabilidad considerable entre los distintos años y espacios evaluados. En la siguiente figura, se comparan los porcentajes de aporte de residuos según su origen en los diferentes años.



	Rectoría	Deportes	F2	CIVCO	Ambiental	Transportes	Materiales	Biblioteca	Forestal	Electromecánica	Comedor
2016	15918	13726,8	10079,76	3359,04	4900,32	20869,44	3890,4	4582,56	8124	6745,44	0
2018	7381,44	14424	9485,424	8053,44	5006,4	19860	8984,64	2610,72	6180	6504,48	23052,96
2025	9859,2	12062,688	15018,624	612,72	4975,824	14868,48	1683,84	230,64	6220,608	8764,08	13473,12

Fig. 77. Comparación del aporte de residuos en cada contenedor por año.

Se observa que, en el 2025, las zonas respectivas a los contenedores del Edificio F2 y Transportes fueron los principales generadores de residuos, con un aporte superior al 15% c/u, en comparación con los años anteriores. Además, el CIVCO, la Biblioteca y el

contenedor de Materiales muestran el menor aporte al estudio del año 2025, lo que podría indicar una reducción en actividades generadoras de residuos, una mayor eficiencia en el uso de recursos y posible tratamiento sostenible de residuos previo a disponerlos en el contenedor que corresponda.

También se evidencia un aumento importante en la generación de residuos para el contenedor de Electromecánica respecto a su tendencia de aporte constante en años anteriores (2016: 8% y 2018: 7%), siendo del 10% para el año 2025. El contenedor de Rectoría aportó un 11% al estudio del 2025, tuvo una disminución significativa en la generación de residuos respecto al 18% para el estudio del 2016; sin embargo, esta aumentó respecto al estudio del 2018 que fue del 8%.

Respecto a los contenedores de Deportes, Transportes, Materiales, Biblioteca, Forestal y el Comedor, se presentó una disminución en la generación de residuos comparado a los estudios anteriores. El aporte del contenedor de Ambiental se mantuvo constante respecto a años anteriores y fue de un 6% para el 2025.

Cabe mencionar que para el contenedor F2 se obtuvo uno de los mayores aportes al presente estudio siendo un 17% correspondiente a 313 kg del total de 1828,54 kg de residuos muestreados. Además, en comparación a los estudios anteriores el contenedor F2 tuvo mayor aumento en la tasa de generación de residuos (2016 y 2018: 11%). Esta tendencia de aumento en la proporción de aporte indica una buena oportunidad de mejora para la GIRS de la zona en estudio.

- *CIVCO*

Como se puede observar en la Fig. 88, la composición de los residuos generados en el CIVCO

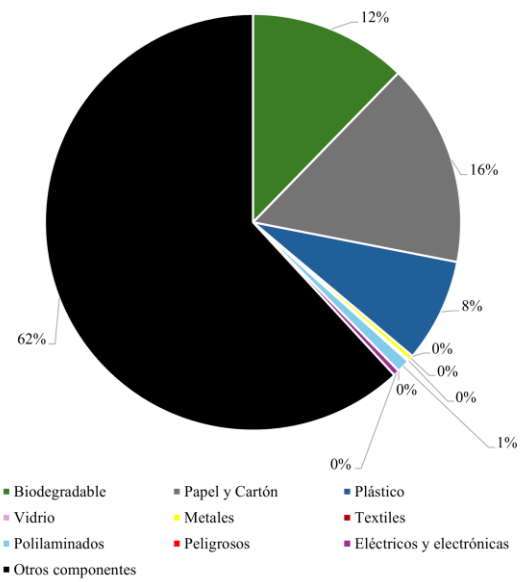


Fig. 88. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de CIVCO.

Tal como se observa en el gráfico, el porcentaje más elevado corresponde a la categoría de otros componentes, predominando residuos como papel higiénico y empaques de comida. También se identificó una cantidad significativa de papel y cartón contaminado, mayormente mojado o sucio, lo que impide su aprovechamiento.

Otra categoría con un alto porcentaje fue la de residuos biodegradables, entre los cuales se encontraron restos de comida y posos de café, principalmente provenientes de la soda ubicada en el sector este. En cuanto a la categoría de papel y cartón limpio, se evidenció que una gran parte de estos residuos provenían de la Escuela de Electrónica y la Escuela de Ciencias del Lenguaje. Por su parte, el porcentaje de plásticos fue relativamente bajo, encontrándose en su mayoría botellas plásticas y bolsas, en cantidades reducidas.

- *F2*

En la Fig. 99 se presenta la composición de los residuos pertenecientes al contenedor ubicado en las cercanías del edificio F2, según categoría.

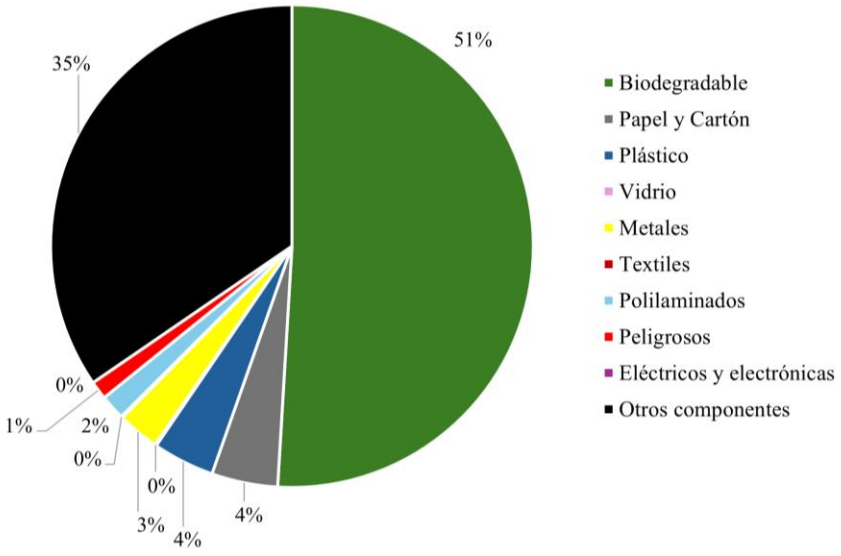


Fig. 99. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de F2.

La categoría más significativa que se observa en el análisis corresponde a los residuos biodegradables, compuesta en gran parte por restos de comida y heces de animales, lo cual evidencia una inadecuada disposición de este tipo de residuos en la zona evaluada.

En segundo lugar, destaca la categoría de otros componentes, dentro de la cual predominan papel higiénico usado y empaques de comida, materiales que también reflejan prácticas inadecuadas de separación.

Además, los residuos de papel-cartón y plástico presentan un porcentaje similar. Esta situación podría atribuirse al uso de máquinas dispensadoras ubicadas en el área, así como al mal manejo de los residuos, ya que están los basureros debidamente rotulados para la clasificación adecuada, pero estos no están siendo utilizados de forma correcta por los usuarios.

- *Ambiental*

En la Fig. 1010 se puede observar el porcentaje de residuos depositados en el contenedor que está junto al parqueo de la escuela de Ambiental, según la categoría.

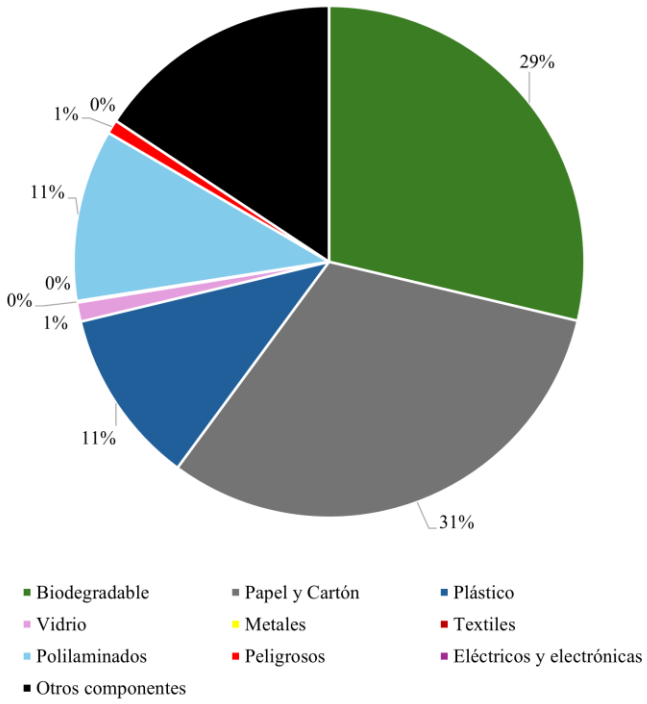


Fig. 1010. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Ambiental.

El porcentaje más alto registrado corresponde a la categoría de papel y cartón, en la cual se identificaron hojas sueltas, posiblemente utilizadas para registros, así como libros desechados de forma inadecuada. La mayor parte de este material proviene de la Escuela de Ambiental y de la Escuela de Química.

Le sigue en proporción la categoría de residuos biodegradables, compuesta principalmente por restos de comida, situación atribuida en gran medida a la cercanía de la Soda del Este, cuya actividad genera una alta cantidad de este tipo de desechos.

En cuanto a la categoría de otros componentes, el porcentaje registrado se relaciona con la presencia de papel higiénico proveniente de los edificios antes mencionados. Finalmente, aunque en menor proporción, también se identificaron residuos de plástico y polilaminados, especialmente envases y envoltorios generados por el uso de las máquinas dispensadoras ubicadas en dichos edificios

- *Electromecánica*

En la Fig. 1111 se observa el porcentaje de los residuos sólidos por categoría depositados en las cercanías del edificio de electromecánica.

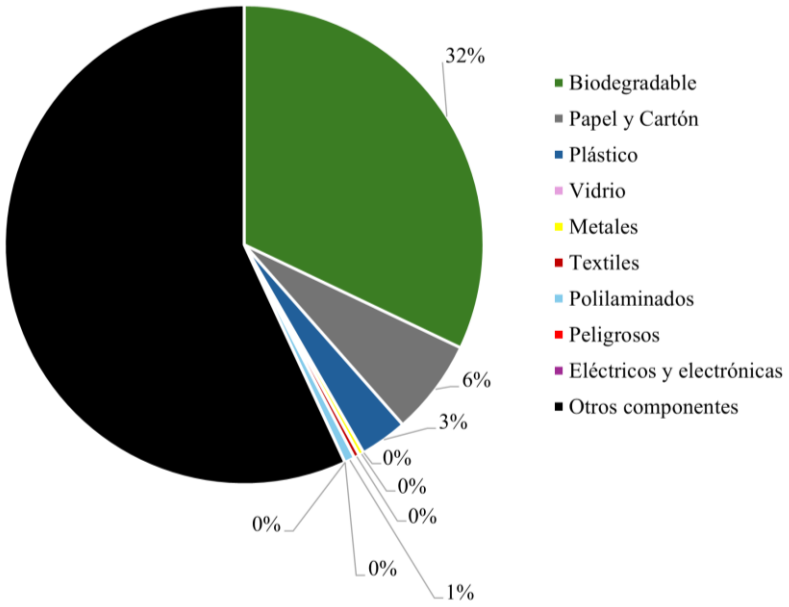


Fig. 1111. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Electromecánica.

El contenedor de Electromecánica presenta un alto porcentaje en lo que son los residuos clasificados como otros componentes, este fue un porcentaje que en su mayoría eran latas de refresco metales también que podía venir del taller de electromecánica, en la clasificación de biodegradable igual que en el resto de contenedor en su mayoría restos de comida.

- *Forestal*

En la Fig. 1212 se muestra el porcentaje por categoría de los residuos sólidos depositados en el contenedor ubicado en Forestal.

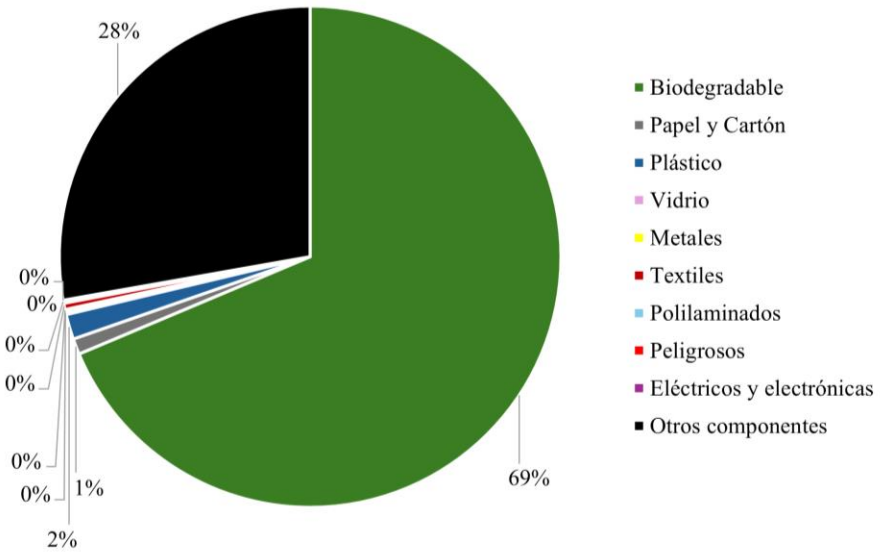


Fig. 1212. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Forestal.

En la clasificación de biodegradables se encuentra con un porcentaje muy elevado, esto se debe a que en este lugar se ubica la soda La Casita Forestal, por lo que todos los residuos de esta categoría provienen de ahí.

- *Materiales*

En la Fig. 1313 se muestra el porcentaje por categoría de los residuos sólidos depositados en el contenedor ubicado en Materiales.

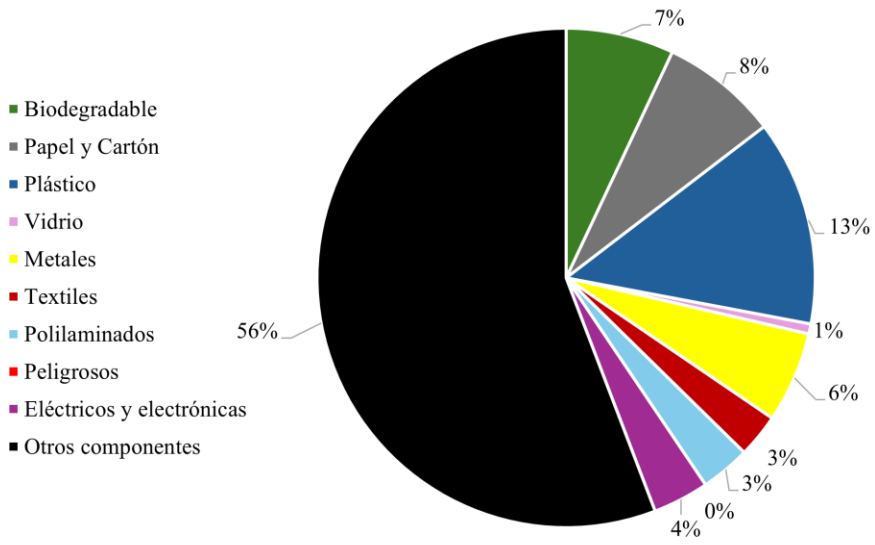


Fig. 1313. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Materiales.

El mayor porcentaje se debe a otros componentes, donde se encontró mayoritariamente papel higiénico, servilletas sucias y envases plásticos y de cartón sucios. El segundo mayor componente fue el plástico, donde se encontraron botellas y envases limpios de PET y HDPE, así como bolsas plásticas limpias. Este contenedor fue el que tuvo mayor presencia de componentes eléctricos y electrónicos, los cuales fueron cables de computadora y microcontroladores. Esto sugiere que algún laboratorio no está gestionando bien esos residuos. Asimismo, los metales corresponden a un 6% y, aunque es una proporción mayor que la general, únicamente se encontraron latas de aluminio de bebidas

- *Deportes*

En la Fig. 1414 se muestra el porcentaje por categoría de los residuos sólidos depositados en el contenedor ubicado en Deportes.

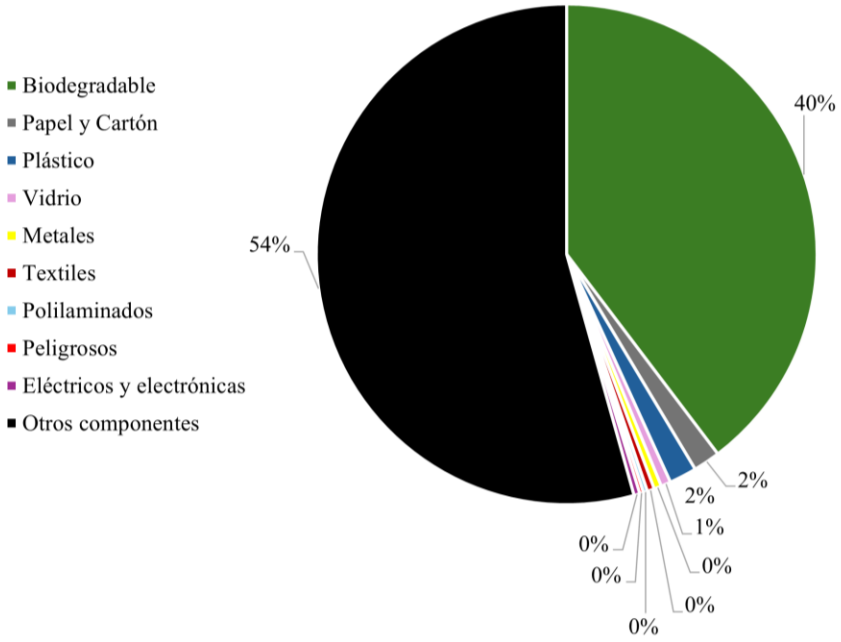


Fig. 1414. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Deportes.

El porcentaje de biodegradables se debe a residuos de comida que provienen de la soda la deportiva, también se encontraban muchos residuos de empaques de comida, envolturas, papel higiénico que estos también proviene de residencias ya que este contenedor está cerca de las residencias esto en la categoría de otros componentes. Aquí se destaca que en el tercer muestreo (sábado) se encontraron residuos del segundo muestreo (jueves), por lo que los residuos no fueron recogidos según el cronograma previsto. Para solventar ese problema metodológicamente, se muestrearon únicamente las bolsas que estaban más superficiales.

- *Rectoría*

En la Fig. 1515 se muestra el porcentaje por categoría de los residuos sólidos depositados en el contenedor ubicado en Rectoría.

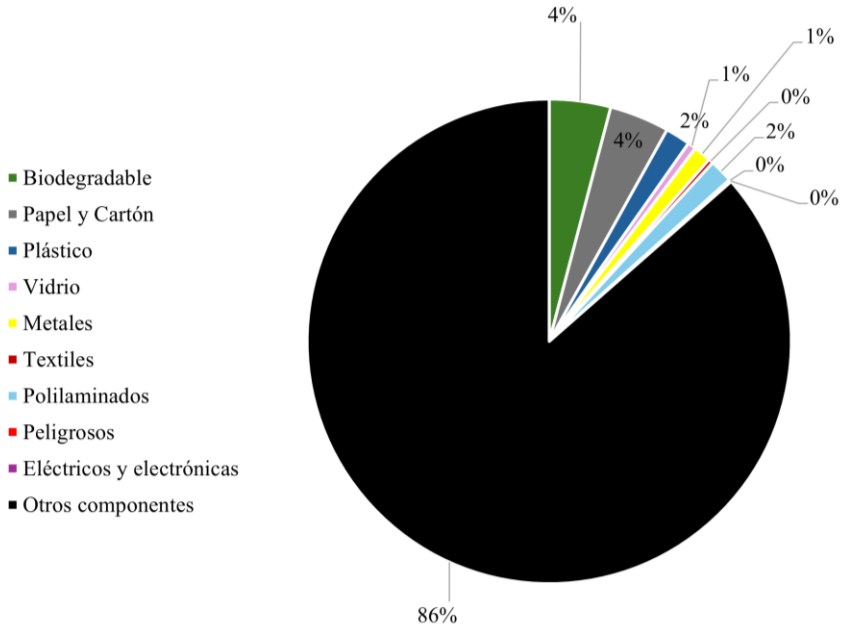


Fig. 1515. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Rectoría.

Este contenedor es el que tuvo el comportamiento más ideal, ya que la enorme cantidad de residuos fueron de Otros componentes, donde principalmente se encontró papel higiénico, envases sucios y plástico que no se podía reciclar ya sea por su composición o porque estaba sucio. Los otros dos componentes de mayor proporción fueron Papel y Cartón y Biodegradable. En el primer, se encontraron cajas de cartón y papeles de impresiones. En el segundo, cáscaras de frutas y restos de comidas individuales (es decir, no de restaurante).

- *Biblioteca*

En la Fig. 1616 se muestra el porcentaje por categoría de los residuos sólidos depositados en el contenedor ubicado por la Biblioteca.

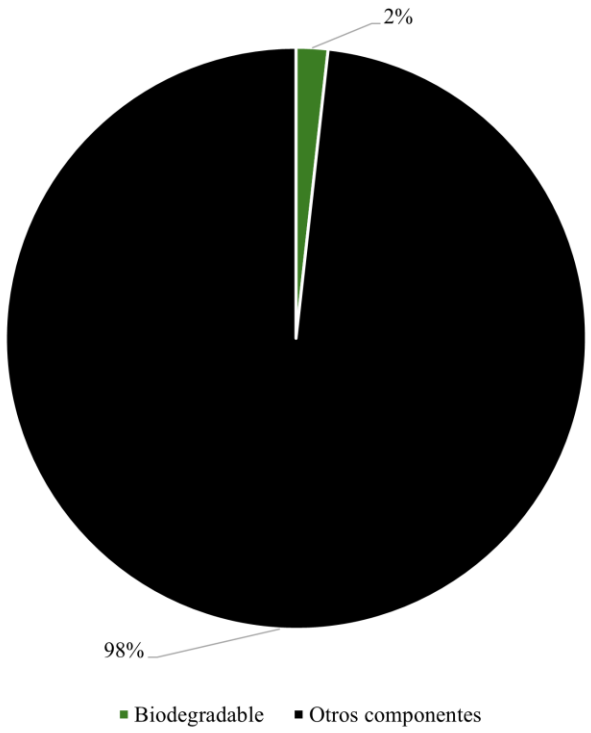


Fig. 1616. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de la biblioteca.

Este contenedor fue un caso especial porque en las tres veces que se muestreó, únicamente se encontraron de dos a tres bolsas con residuos externos al TEC. Los residuos de la Biblioteca y del edificio de Física probablemente se están llevando al contenedor del Comedor, que es el otro más cercano.

- *Transportes*

En la Fig. 1717 se muestra el porcentaje por categoría de los residuos sólidos depositados en el contenedor ubicado cerca del departamento de Transporte.

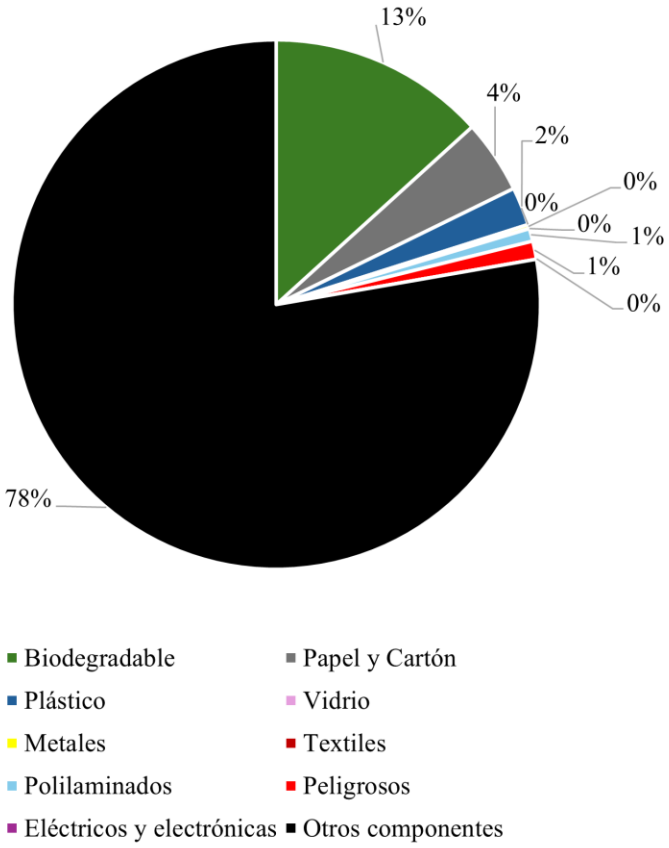


Fig. 1717. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor de Transporte.

En la categoría de otros componentes se encontró mayoritariamente papel y cartón mojado y sucio, papel higiénico sucio y mojado, también se encontraron pañales provenientes de la guardería (TipTec) que está cerca del este contenedor, y en la parte de biodegradable se debía a lo que proviene de la soda del Lago que también está cerca de este contenedor.

- *Comedor*

En la Fig. 1818 se muestra el porcentaje por categoría de los residuos sólidos depositados en el contenedor ubicado cerca del comedor.

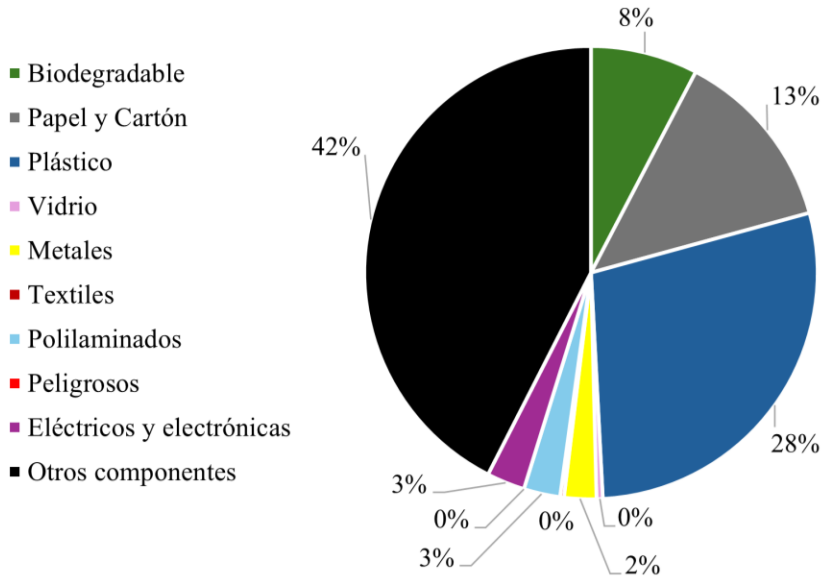


Fig. 1818. Composición de los residuos sólidos por categoría depositados en el contenedor del comedor.

En este contenedor, a pesar de encontrarse cerca del comedor institucional, se encontró poca proporción de residuos biodegradables en comparación a los otros sectores con restaurantes. Esto se debe a la separación para el compostaje que se realiza en el comedor. Igualmente se encontraron ciertos residuos orgánicos de cáscaras de frutas que probablemente venían del comedor y no se dispusieron correctamente. Los componentes restantes, especialmente papel y cartón y plástico, probablemente vinieron del edificio de Física y la biblioteca, así como algún otro edificio colindante.

De manera general, la distribución espacial de los contenedores revela que ciertos puntos del campus, como F2, Electromecánica y Forestal, generan cantidades y composiciones significativamente distintas debido a sus usos específicos y a la cercanía de servicios como sodas, laboratorios o talleres. Esto sugiere que las estrategias de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) deben adaptarse localmente, diseñando intervenciones diferenciadas según la zona y su dinámica de generación.

La ruta de recolección presenta oportunidades de mejora en términos de eficiencia y cumplimiento de los horarios establecidos. Durante el muestreo se encontraron residuos acumulados en algunos puntos estratégicos dos días después del paso programado del

camión recolector, lo que evidencia inconsistencias en la frecuencia real de recolección. Asimismo, se observó una falta de rotulación clara en los contenedores destinados a residuos valorizables, lo cual puede inducir a confusión y errores en la separación de residuos por parte de los usuarios. Esta situación destaca la necesidad de revisar y optimizar la planificación de las rutas, reforzar el cumplimiento de los cronogramas de recolección y estandarizar la rotulación en todos los puntos de acopio, especialmente en los contenedores de residuos valorizables, para facilitar una adecuada clasificación desde el origen

A pesar de los esfuerzos institucionales, el estudio evidencia un desaprovechamiento significativo de residuos valorizables y un bajo nivel de cumplimiento en la separación en la fuente. Casi el 50 % de los residuos enviados al relleno sanitario podrían ser valorizados, incluyendo una fracción importante de biodegradables, plásticos y papel/cartón aún recuperables. La presencia de residuos contaminados o mal dispuestos, junto con el aumento del plástico respecto a 2018 (+124 %), revela un retroceso en las prácticas de reducción y aprovechamiento. Además, las diferencias en composición por contenedor demuestran que la separación no es uniforme y está influenciada por dinámicas locales (restaurantes, laboratorios, uso del espacio). Esto refuerza la necesidad de fortalecer la cultura ambiental en toda la comunidad universitaria, mejorar las prácticas de separación en origen y articular estrategias diferenciadas según la zona del campus.

6. Conclusiones

1. Los residuos sólidos en el Campus Central del TEC están compuestos principalmente por papel, plástico y residuos orgánicos, reflejando patrones de generación relacionados con las actividades académicas y administrativas del campus.
2. El 27 % de residuos biodegradables identificado evidencia la necesidad de reforzar las estrategias de compostaje e implementar su cumplimiento obligatorio en los restaurantes privados. Proyectando esta cantidad a nivel anual, se estima una generación de 25 066 kg/año de residuos biodegradables. Si esta fracción se destinara al compostaje en lugar de enviarse al relleno sanitario, se evitaría la

emisión de aproximadamente 32 toneladas de CO_2 equivalente al año, según los factores de emisión del IMN (2024).

3. La presencia de residuos mezclados y mal categorizados refleja la necesidad urgente de fortalecer la educación ambiental dentro de la comunidad universitaria. Esto sugiere que la causa raíz del problema radica en el desconocimiento y la falta de conciencia sobre la adecuada separación de residuos.
4. En comparación con los estudios previos se evidencian cambios en los patrones de generación de residuos, lo que resalta la importancia de actualizar periódicamente los estudios de composición para una mejor planificación de políticas de GIRS.
5. Dentro de los "Otros componentes" existen ciertos elementos que podrían llevarse a coprocesamiento, como los envases sucios, aunque la mayoría son residuos sanitarios.
6. La distribución espacial de los contenedores revela que ciertos puntos del campus, como F2, Electromecánica y Forestal, generan cantidades y composiciones significativamente distintas debido a sus usos específicos y a la cercanía de servicios como sodas. Esto sugiere que las estrategias de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) deben adaptarse localmente, diseñando intervenciones diferenciadas según la zona y su dinámica de generación.
7. Cerca del 50 % de los residuos generados en el campus tienen potencial de valorización, pero están siendo enviados al relleno sanitario por mala separación en la fuente. El aumento en residuos plásticos y las diferencias entre contenedores reflejan un retroceso en la cultura ambiental y la necesidad urgente de fortalecer la educación, mejorar la separación y aplicar estrategias adaptadas a cada zona del campus.

7. Recomendaciones

1. Exigir a los restaurantes privados que lleven sus residuos orgánicos a la compostera institucional.

2. Controlar y evitar la contaminación cruzada para prevenir que residuos bioinfecciosos (como papel higiénico y material sanitario) terminen en fracciones aprovechables, ya que esto impide procesos de reciclaje o compostaje.
3. Exigirles a laboratorios y centros de investigación que dispongan correctamente sus residuos, por más pequeños que sean, esto para evitar la presencia de guantes, gabachas y otros equipos que podrían estar contaminados; también para evitar la presencia de componentes eléctricos y electrónicos que podrían ser valorizados.
4. Comunicar a la población universitaria y de las comunidades cercanas de que no pueden llevar sus residuos domésticos al TEC.
5. Para futuros estudios de composición, considerar equipos de mínimo 3 personas por contenedor y usar balanzas de piso para facilitar el pesaje cuando haya bolsas pesadas de biodegradables. Por temas de seguridad laboral.
6. Disponer de balanzas con precisión de miligramos para casos como poca cantidad de baterías, latas o residuos ligeros.
7. Realizar los estudios de composición durante marzo para evitar las lluvias que pueden empezar a partir de abril.
8. Actualizar la rotulación de los contenedores de residuos sólidos valorizables.

8. Referencias y citaciones

Hidalgo-Crespo, J. A., Velastegui-Montoya, A., Soto, M., Rivas, J. L. A., Zwolinski, P., Riel, A., & Rivas-García, P. (2024). Improving urban waste management: A comprehensive study on household waste generation and spatial patterns in the Grand Guayaquil Metropolitan Area. *Waste Management & Research The Journal For A Sustainable Circular Economy*, *42*(10), 918-931. https://doi.org/10.1177/0734242x241262714

Jaramillo, J. (2002). GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*. https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf

Kühn, V. O., Oliveira, B. F. F., Chiarelotto, M., & Canteras, F. B. (2024). Review and future perspectives on soil and groundwater inorganic contamination by non-sanitary landfills in Latin America. *International Journal Of Environmental Science And Technology*. https://doi.org/10.1007/s13762-024-06171-w

Maridueña, D. M. C., Maridueña, B. C., & Carvajal, C. L. Y. (2016). *Las 4R como estrategias de conservación ambiental*. Dialnet. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6498585#:~:text=Las%204r%20consiste%20en%20reducir,un%20medio%20ambiente%20m%C3%A1s%20limpio.

Ministerio de Salud de Costa Rica. (2013). *Decreto Ejecutivo N.º 37745-S: Metodología para estudios de generación y composición de residuos sólidos ordinarios*. Diario Oficial La Gaceta, No. 139. https://www.pgrweb.go.cr

Ministerio de Salud de Costa Rica. (2016). *Estrategia Nacional de Separación, Recuperación y Valorización de Residuos 2016-2021*. https://www.ministeriodesalud.go.cr

Ministerio de Salud de Costa Rica. (2022). *Línea base para la actualización de la Política Nacional de Gestión Integral de Residuos 2022–2032*. https://www.ministeriodesalud.go.cr/separayvenceras/img/Linea-base-GIR-Taller-6-de-diciembre%202022.pdf

Ministerio de Salud de Costa Rica. (2023). *Política y Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2023–2033 / 2023–2028*. Gobierno de Costa Rica.

Rejeb, O., Afsa, S., Toumi, D., Rando, R., Hassani, R., Harzallah-Skhiri, F., Mansour, H. B., & Di Bella, G. (2025). Assessment of the contribution of municipal solid waste dumping coupled with open burning to the contamination of the surrounding environment by plasticizers. *Waste Management*, *204*, 114909. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.114909

Sáez, A., & Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, *20*(3), 121-135. https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf

9. Anexos

I. A continuación, se presentan algunas de las fotografías tomadas durante los muestreos realizados por integrantes del presente estudio.



Fig. 1919. Guantes y papel cartón mezclados con agentes químicos o biológicos.



Fig. 2020. Material biodegradable contaminado mezclado con toallas sanitarias usadas.



Fig. 2121. Papel higiénico como material bioinfeccioso mezclado con papel cartón y bolsa plástica.



Fig. 2222. Bolsas completas con residuos de poda y mantenimiento a jardines o zonas verdes en el contenedor del Edificio F2.



Fig. 2323. Plásticos diversos encontrados y categorizados.



Fig. 2424. Polilaminados encontrados junto a plástico y cartón.



Fig. 2525. Latas de aluminio separadas durante muestreo.



Fig. 2626. Residuos peligrosos encontrados.

II. Equipo de pesa utilizado y tamaño de contenedores empleados para recolección en diversos puntos del campus.



Fig. 2727. Integrante del estudio realizando muestreo en contenedor del edificio F2.



Fig. 2828. Contenedor empleado para recolección en la zona de rectoría junto a 50,4 kilogramos de material muestreado.

III. Hoja de cálculo de Excel con los datos obtenidos y carpeta con todas las fotos.

Matriz de reporte y análisis de datos 2025

Fotos