ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA TOULOUSE LAUTREC

EcoFiltro: Diseño de un sistema para la optimización de la segregación y valorización de residuos orgánicos en Pueblo Libre

PROYECTO DE INNOVACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE BACHILLER EN COMUNICACIÓN AUDIOVISUAL MULTIMEDIA

PRESENTADO POR

Camila Del Carmen Caceres Miranda
DNI: 73041284, Perú
ORCID: 0009-0003-9861-8748

Mishel Santander Vera
DNI: 76916966, Perú
ORCID: 0009-0001-7591-4136

ASESORES

Jacqueline Lisseth Rumaldo Romuacca
DNI: 46215460, Perú
ORCID: 0009-0009-7885-400X

Elizabeth Fabiola Palomino Nolasco
DNI: 47052640, Perú
ORCID: 0009-0001-9390-2980

JURADO

Marysol Kelly Lopez Chavez
Ramón Alfredo Ganoza Ferrer
Jasmine Erika Mora Sifuentes

Lima, Julio 2026

Informe-ID1-ID2-CACERES-SANTANDER.pdf

Desarrollo Educativo S.A. Instituto Toulouse Lautrec

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::11391:604868379

Fecha de entrega
5 jul 2026, 4:15 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
5 jul 2026, 4:34 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
Informe-ID1-ID2-CACERES-SANTANDER.pdf

Tamaño del archivo
19.0 MB

47 páginas

7715 palabras

43.028 caracteres

21% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado

Fuentes principales

11%	Fuentes de Internet
3%	Publicaciones
20%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

A mi mamá, por ser el motivo detrás de cada uno de mis logros. Todo lo que soy nace de ella y todo lo que he conseguido es gracias a su esfuerzo, su amor y su apoyo incondicional, incluso en los momentos más complicados.

Este logro es tuyo tanto como mío, porque sin ti nada de esto sería posible.

Camila

A mis padres, por acompañarme en cada etapa de mi formación profesional. Gracias por creer en mí, por brindarme su apoyo incondicional y por confiar en mis decisiones, incluso cuando el camino que elegí les resultaba nuevo y diferente. Su esfuerzo, paciencia y amor han sido el impulso que me permitió llegar hasta aquí.

Este logro también es suyo. Gracias por celebrar cada paso, por alentarme a seguir adelante y por sentirse orgullosos de mí en todo momento.

Con mucho cariño y gratitud, les dedico este trabajo.

Mishel

Agradecimiento

Agradecemos a la institución Toulouse Lautrec por brindarnos la formación académica, las herramientas y el acompañamiento necesarios para el desarrollo de nuestras competencias profesionales a lo largo de esta etapa.

Asimismo, expresamos nuestro profundo agradecimiento a los trabajadores de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de la Municipalidad de Pueblo Libre, por su disposición, tiempo y apoyo durante el proceso de investigación, lo cual nos permitió comprender de manera directa la realidad del sistema de gestión de residuos y enriquecer el desarrollo del presente proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Información general 1

1.1 Título del Proyecto de Innovación 1

1.2 Resumen del Proyecto de Innovación 1

II. Descripción de la innovación 3

2.1 Investigar para diseñar 3

2.1.1 Actores del Proyecto 3

2.1.2 Contexto general 5

2.1.3 Problema u oportunidad 8

2.1.4 Reto de diseño 9

2.2 Diseñar para crear valor 10

2.2.1 Propuesta de valor 10

2.1.2 Solución 12

2.3 Diseñar el servicio 16

2.3.1 Blueprint del servicio 16

2.3.2 Artefacto(s) 19

2.3.3 Experimentos 20

III. Conclusiones y recomendaciones 24

IV. Referencias Bibliográficas 26

V. Anexos 27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Arquetipo. **5**
Figura 2. Lienzo de Propuesta de Valor - Arquetipo. **10**
Figura 3. Lienzo de divergencia y convergencia. **11**
Figura 4. Sistema Integral EcoFiltro. **12**
Figura 5. Contenedores diferenciados en mercados. **13**
Figura 6. Módulo de Pretratamiento de los Residuos Orgánicos. **14**
Figura 7. Sensor de peso. **14**
Figura 8. Sistema de monitoreo IoT del contenedor de orgánico limpio. **15**
Figura 9. Compost final y su uso. **15**
Figura 10. *Blueprint del servicio.* **17**
Figura 11. Experimento ágil EcoFiltro. **23**
Figura 12. Planta de compostaje de Pueblo Libre. **38**
Figura 13. Planta de compostaje de Pueblo Libre. **39**
Figura 14. Sr. Hilario Condor, trabajador de la planta de compostaje. **39**

I. Información general

1.1 Título del Proyecto de Innovación

EcoFiltro: Diseño de un sistema para la optimización de la segregación y valorización de residuos orgánicos en Pueblo Libre

1.2 Resumen del Proyecto de Innovación

El proyecto de innovación **EcoFiltro: Diseño de un sistema para la optimización de la segregación y valorización de residuos orgánicos en Pueblo Libre** se plantea en el contexto del área estratégica de desarrollo prioritario de Tecnología ambiental sostenible y la actividad económica de Administración pública y busca resolver la deficiente segregación en origen y la ineficaz gestión de residuos orgánicos provenientes de los mercados del distrito de Pueblo Libre lo cual incrementa la carga operativa en la planta de compostaje y reduce la eficiencia del proceso. Asimismo, responde a la necesidad de optimizar el flujo de recolección y mejorar la calidad de los residuos orgánicos, teniendo como población beneficiaria al Sr. Víctor, trabajador de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de Pueblo Libre, así como a los actores involucrados en la cadena de gestión de residuos orgánicos del distrito, incluyendo los comerciantes de los mercados y vecinos participantes del programa.

Se aplicó la metodología de resolución creativa de problemas con herramientas de Design Thinking para tomar como centro al usuario y Lean Startup para impulsar la implementación de los resultados, estas herramientas contemplan la colaboración y el pensamiento visual, como la técnica persona para plantear arquetipos y validar usuarios, mapa de actores para reconocer el contexto y mercado, mapa de trayectoria, para delinear la mecánica de la propuesta, canvas de propuesta de valor, para consolidar el concepto innovador, entre otras, que son presentadas en detalle en el documento a continuación.

La solución innovadora presentada en forma de propuesta de valor consiste en el diseño e implementación del sistema EcoFiltro, un servicio integral que une la segregación asistida en mercados, la recolección diferenciada y el pretratamiento mecanizado en planta, incorporando el monitoreo digital del nivel de material orgánico limpio obtenido, con el fin de reconfigurar el sistema actual de gestión de residuos orgánicos hacia un modelo más eficiente, ordenado y sostenible, se trata de un sistema integral para la gestión de residuos orgánicos provenientes, principalmente, de los mercados de Pueblo Libre, orientado a mejorar la segregación, recolección y el tratamiento en la planta de compostaje. Está compuesto por contenedores diferenciados con señalización en mercados, un sistema de recolección más organizado, un módulo de pretratamiento mecánico en planta y un sistema de monitoreo del flujo de residuos mediante sensores de peso, el cual permite el control y seguimiento del material orgánico aprovechable. El proceso inicia con la segregación en los mercados, continúa con la recolección y finaliza en la planta de compostaje con el pretratamiento y monitoreo de los residuos orgánicos limpios. Este sistema crea impacto social al reducir la carga laboral del trabajador, impacto económico al optimizar los tiempos operativos, e impacto ambiental al mejorar la calidad del compost y la valorización de los residuos orgánicos.

Para la experimentación se diseñaron prototipos de baja y media fidelidad del Programa Municipal EcoFiltro, los cuales representaron el sistema integral de segregación en origen mediante contenedores diferenciados y señalética del modo de uso en los mercados, por otro lado, en planta, el módulo de pretratamiento mecánico y un sistema de monitoreo del proceso mediante la visualización de datos del pesaje del residuo orgánico limpio. Para la validación del prototipo del Programa Municipal EcoFiltro se realizaron entrevistas semiestructuradas, observación directa en el contexto de uso y la presentación del sistema a potenciales usuarios, incluyendo comerciantes de mercados, trabajadores de la

planta de compostaje e ingenieros participantes de la planta. Todo esto en conjunto permitió evaluar la comprensión, aceptación y viabilidad del sistema propuesto, así como identificar oportunidades de mejora en su implementación.

Se concluye que la solución propuesta es viable y bien aceptada por todos los usuarios involucrados, destacando su potencial para reducir la carga operativa del trabajador en la planta de compostaje y mejorar la calidad de la segregación desde el origen, lo que contribuye a una mayor eficiencia del sistema de gestión de los residuos orgánicos y se recomienda avanzar hacia una fase de implementación piloto del sistema en mercados seleccionados del distrito de Pueblo Libre, incorporando ajustes en la señalización y un seguimiento continuo mediante todos los indicadores operativos del proceso.

II. Descripción de la innovación

2.1. Investigar para diseñar

2.1.1. Actores del Proyecto

Los actores principales de nuestra investigación son los trabajadores de la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de Pueblo Libre, quienes desempeñan funciones operativas directas en el recojo, recepción, clasificación, tratamiento y transformación de los residuos orgánicos en compost. Su rol es fundamental dentro del proceso, ya que son los responsables de la eficiencia del sistema de valorización de estos residuos.

Como actores secundarios se considera a la población del distrito, tanto vecinos, como comerciantes de los mercados participantes del programa, quienes colaboran indirectamente mediante la segregación de residuos en la fuente.

Esta estructura de actores permite comprender la cadena completa del manejo de residuos sólidos orgánicos, desde la generación hasta su valorización final dentro del sistema municipal.

Como parte de la investigación y para poder comprender las necesidades profundas del actor principal, se construyó el arquetipo de "Sr. Víctor", trabajador de la Planta de Valorización de Residuos de la Municipalidad de Pueblo Libre (Figura 1). Se trata de un operario de edad adulta mayor, con experiencia en labores de recolección y procesamiento de residuos orgánicos, cuyo trabajo se desarrolla directamente con la elaboración del compostaje.

El Sr. Víctor representa al trabajador operativo de la planta de compostaje que sostiene diariamente el funcionamiento del sistema de gestión de residuos del distrito de Pueblo Libre. Su experiencia no se limita únicamente a la ejecución de tareas técnicas, sino que está supeditada por las condiciones en las que los residuos llegan desde los mercados y por la eficiencia del flujo previo al tratamiento, actualmente manual.

Desde la perspectiva de la propuesta, el Sr. Víctor enfrenta principalmente la sobrecarga operativa derivada de la llegada de residuos mezclados, incrementando significativamente el tiempo de clasificación manual, y obligándolo a invertir mayor esfuerzo para separar materiales aprovechables, todo debido a la ineficiencia del sistema de segregación en origen. Como resultado de todo esto, el tiempo operativo disponible resulta insuficiente para cumplir con todas las actividades programadas dentro del proceso de tratamiento, generando presión sobre su jornada laboral y reduciendo la eficiencia global del sistema.

Figura 1

Mapa de arquetipo del Sr. Víctor, trabajador de la Planta de Valorización de Residuos de la Municipalidad de Pueblo Libre.



2.1.2. Contexto general

La generación de residuos sólidos en los distritos de Lima Metropolitana ha venido aumentando de forma sostenida en los últimos años, según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2024). Se observa que entre los años 2022 y 2024 la cantidad de residuos generados en el distrito de Pueblo Libre tuvo un incremento cercano a las dos toneladas. Esta situación ha llevado a la Municipalidad de Pueblo Libre a implementar distintas iniciativas como el Programa Recicla, el Programa EcoTrueque y la Planta de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos, entre otros esfuerzos orientados a mejorar la gestión de los residuos.

Sin embargo, a pesar de la existencia de estos programas, todavía se presentan dificultades en la segregación en las fuentes y en el aprovechamiento de los residuos orgánicos, lo que termina generando una mayor carga operativa en las etapas de clasificación y tratamiento dentro de la planta de valorización, afectando la eficiencia del sistema y la calidad del material orgánico procesado.
Esta situación refleja la necesidad de fortalecer enfoques más integrales de gestión, donde el aprovechamiento de los residuos permita no solo su tratamiento, sino también su valorización dentro de un modelo sostenible.

De acuerdo con Vega Leyva (2025), la economía circular aplicada al manejo de residuos orgánicos permite reducir la cantidad de desechos que terminan en disposición final, así como disminuir los impactos ambientales asociados a su descomposición, promoviendo además su reincorporación en ciclos productivos sostenibles a través de su transformación en compost.

A nivel nacional, esta problemática también se repite. Diferentes investigaciones señalan que la gestión de residuos sólidos en el Perú todavía presenta limitaciones importantes, sobre todo en lo relacionado con la valorización. En ese sentido, el estudio realizado por Chacaltana Lara (2023) muestra que, en el país, la valorización de residuos sólidos aún es reducida, predominando la disposición final en rellenos sanitarios y botaderos informales. Además, se menciona que factores como la limitada educación ambiental, la baja participación ciudadana y la débil implementación de sistemas integrales de gestión influyen directamente en que no se aprovechen adecuadamente los residuos orgánicos.

A esto se suma que, a nivel global, la generación de residuos sólidos municipales sigue aumentando de manera constante, impulsada por el crecimiento de la población, la urbanización y los cambios constantes en los hábitos de consumo. En este contexto, los residuos orgánicos representan una de las fracciones más importantes dentro de los residuos municipales y también una de las principales fuentes de impacto ambiental, especialmente cuando no reciben un tratamiento adecuado. Según el Banco Mundial (2026), en su informe *What a Waste 3.0: Global Snapshot of Solid Waste Management Toward Circularity Until 2050*, esta situación no solo presiona los sistemas de disposición final, es decir, donde los residuos son finalmente enviados cuando ya no pueden ser aprovechados, sino que también limita el aprovechamiento de materiales bajo un enfoque de economía circular.

Por otro lado, la segregación en la fuente se constituye como un elemento crítico dentro de la gestión de residuos sólidos, debido a que permite mejorar la eficiencia de los procesos de valorización y tratamiento. El mismo informe del Banco Mundial (2026) señala que la ausencia de una adecuada separación en origen representa una de las principales limitaciones para la gestión eficiente de los residuos sólidos municipales, ya que incrementa la contaminación de los residuos orgánicos y reduce su potencial de aprovechamiento dentro de un enfoque de economía circular.

Finalmente, la valorización de residuos orgánicos mediante enfoques de economía circular se ha ido posicionando como una alternativa importante para replantear la forma tradicional de gestionar los residuos. Procesos como el compostaje permite no solo reducir el volumen de residuos que van a disposición final,

sino también generar productos con valor agregado, contribuyendo a una gestión más sostenible a nivel municipal.

2.1.3. Problema y oportunidad

En el distrito de Pueblo Libre, la gestión de residuos orgánicos provenientes de los mercados presenta deficiencias en la segregación en origen, lo que ocasiona que los residuos lleguen mezclados a la planta de compostaje. Esta situación incrementa significativamente la carga operativa del trabajador encargado del procesamiento, el Sr. Víctor, quién se ve en la necesidad de realizar una clasificación manual más extensa y demandante.

La problemática se origina principalmente en la limitada cultura de segregación de los comerciantes de los mercados de Pueblo Libre, acompañada de la ausencia de mecanismos de verificación en los puntos de origen y la escasa retroalimentación sobre la calidad del residuo entregado al sistema.

Como consecuencia, el flujo del servicio se ve interrumpido desde su etapa inicial, generando una sobrecarga operativa en la planta de compostaje. El Sr. Víctor, debe realizar procesos adicionales de clasificación manual, lo que incrementa los tiempos de procesamiento, eleva la carga física y reduce la eficiencia del sistema. Asimismo, la presencia de residuos contaminados afecta la calidad del material orgánico obtenido, comprometiendo el objetivo de la planta, que busca la valorización de los residuos orgánicos a través de la generación de un compost de calidad.

A partir de esta problemática, se identifica la oportunidad de intervención en el sistema de gestión de residuos, partiendo desde la etapa de origen en los mercados del distrito, con una mejora en los materiales brindados a los comerciantes para asegurar una

segregación más eficiente en fuente, y finalizando con la adición de mecanismos de asistencia operativa que permitirían reducir la contaminación cruzada y la labor manual del Sr. Víctor en la planta. Esto se relaciona con la importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos, según Vega Leyva (2025):

> La investigación también evidenció los beneficios ambientales del uso de residuos orgánicos para la producción de compost. Al reciclar estos materiales, se redujo la cantidad de residuos sólidos enviados a los vertederos y se evitó la emisión de gases de efecto invernadero. (p. 40)

Esto en conjunto permitiría al sr. Víctor enfocarse en realizar un proceso de compostaje más eficiente y obtener como resultado un compost de mejor calidad para el programa municipal.

2.1.4. Reto de diseño

A partir del análisis del contexto en los mercados de Pueblo Libre y las necesidades del arquetipo, se definió el siguiente reto de diseño que articula el ODS 12 (Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles) con la meta 12.5 (De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización):

"¿Cómo podríamos ayudar al Sr. Víctor, trabajador de la Planta de Valorización de Residuos de la Municipalidad de Pueblo Libre, a conseguir residuos orgánicos mejor segregados desde los mercados de Pueblo Libre, optimizando el flujo de recolección, mientras reducimos la carga operativa asociada a la clasificación manual dentro de la planta de compostaje?"

2.2. Diseñar para crear valor

2.2.1. Propuesta de valor

El Programa Municipal EcoFiltro ayuda a Víctor, trabajador de la planta de compostaje de Pueblo Libre, a optimizar la gestión de residuos orgánicos mediante un sistema integral que articula la segregación en mercados, la recolección diferenciada, el pretratamiento mecánico y el monitoreo IoT, con el fin de reducir la clasificación manual y mejorar la eficiencia del proceso de compostaje.

Figura 2

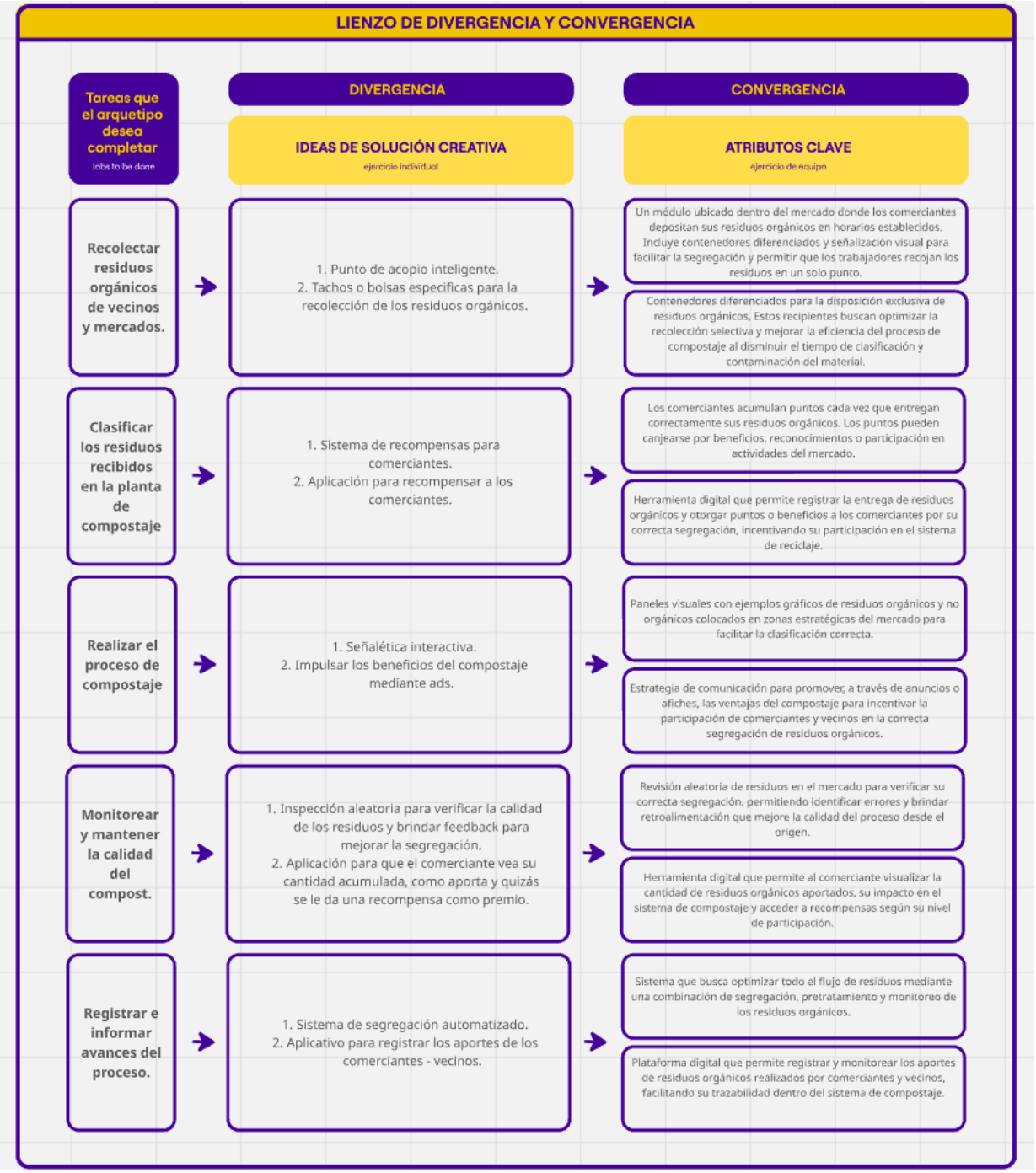
Lienzo de Propuesta de Valor - Arquetipo.



Como parte del proceso de ideación del sistema EcoFiltro, se desarrolló un lienzo de divergencia y convergencia que permitió explorar alternativas de solución a partir de las necesidades del usuario, consolidando los atributos clave del sistema antes de su definición final.

Figura 3

Lienzo de divergencia y convergencia.



2.2.2. Solución

A partir de la problemática identificada, la solución propuesta es el diseño e implementación del Programa Municipal EcoFiltro, un sistema integral de gestión de residuos orgánicos que optimiza todo el flujo del proceso desde su generación en los mercados del distrito de Pueblo Libre hasta su transformación en compost en la planta municipal.

Figura 4

Sistema Integral EcoFiltro.



Este sistema interviene en seis fases articuladas: la segregación en origen mediante contenedores diferenciados y señalización en mercados, la cual es fundamental para mejorar la eficiencia del sistema de valorización de residuos sólidos (Banco Mundial, 2026); la recolección diferenciada de residuos; el transporte separado hacia la planta.

Figura 5

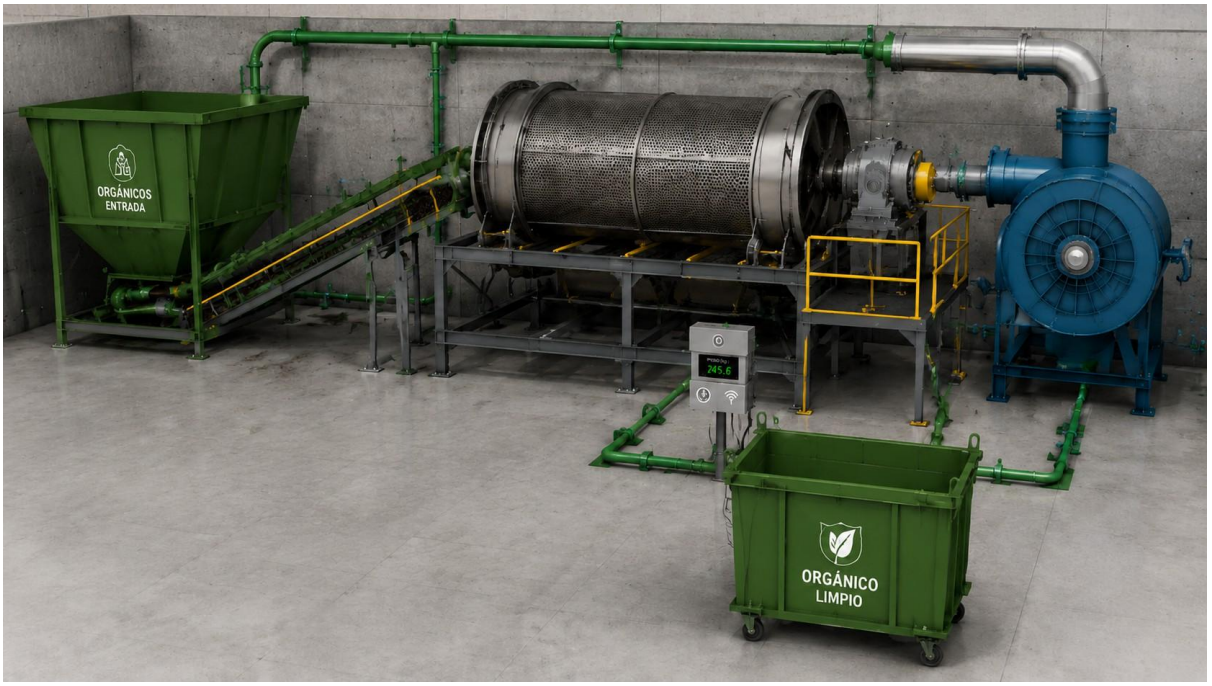
Contenedores diferenciados en mercados.



Un módulo de pretratamiento mecánico que permite obtener residuos orgánicos limpios mediante procesos de tamizado y separación, los cuales han demostrado mejorar la eficiencia del tratamiento en sistemas de compostaje (Gómez Donis, 2023); el compostaje del material pretratado; y finalmente el uso del compost en áreas verdes, agricultura urbana o donación.

Figura 6

Módulo de Pretratamiento de los Residuos Orgánicos.



Nota. Este módulo incluye el uso de dos tolvas, un trommel, un filtro por separación de aire y el sistema de pesaje.

Como elemento innovador, el sistema incorpora un componente de monitoreo IoT mediante sensores de peso en el contenedor de orgánico limpio, lo que permite controlar en tiempo real la cantidad de material valorizable y mejorar la toma de decisiones operativas dentro del sistema municipal.

Figura 7

Sensor de peso.



Figura 8

Sistema de monitoreo IoT del contenedor de orgánico limpio.



Este sistema se concibe como una solución integral que articula todas las etapas del flujo de residuos, desde el origen hasta su valorización final, con el objetivo de cerrar el ciclo de aprovechamiento de los residuos orgánicos bajo un enfoque de economía circular.

Figura 9

Compost final y su uso.



En conjunto, la solución busca reducir la carga operativa del trabajador de la planta de compostaje, disminuir la clasificación manual de residuos, mejorar la calidad del compost producido y optimizar la eficiencia global del sistema de gestión de residuos orgánicos.

Asimismo, la propuesta ha sido representada mediante un prototipo visual del servicio, lo que permite comprender de manera clara la interacción entre actores, procesos y artefactos dentro del sistema EcoFiltro.

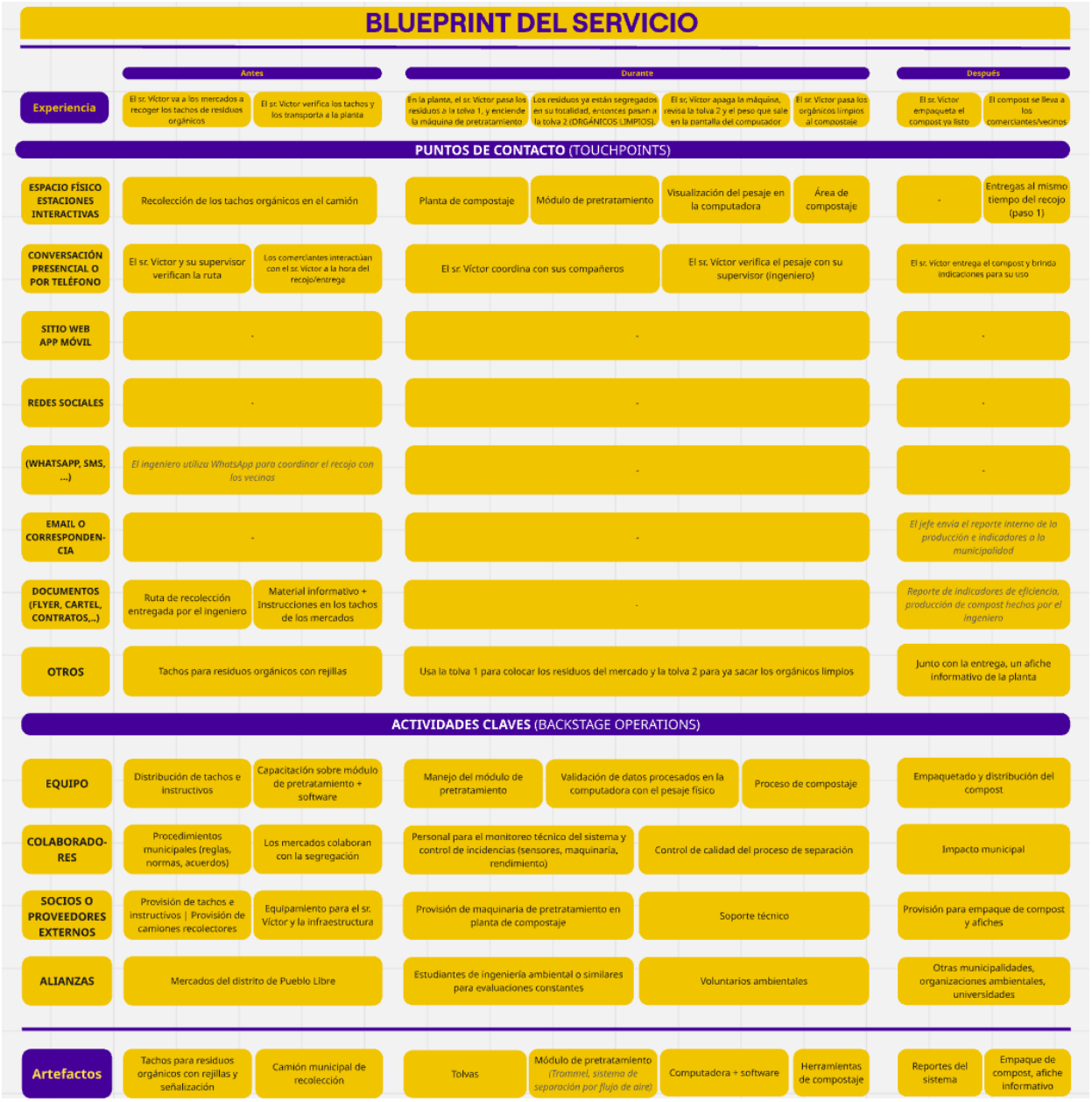
2.3. Diseñar el servicio

2.3.1. Blueprint del servicio

La viabilidad de nuestro Programa Municipal EcoFiltro se sustenta en una arquitectura de servicio que orquesta los procesos operativos, los puntos de contacto y los actores involucrados a lo largo de la cadena de gestión de los residuos orgánicos, con un modelo de negocio basado en la eficiencia operativa municipal, la reducción de clasificación manual y la valorización del residuo orgánico mediante la producción de compost.

Figura 10

Blueprint del servicio.



El Service Blueprint detalla de forma ordenada el funcionamiento del sistema implementado en la Planta de Valorización de Residuos Orgánicos de Pueblo Libre, tomando como actor principal al sr. Víctor, trabajador de la planta de compostaje. Este

esquema nos facilita la comprensión del servicio mostrando la relación entre las actividades operativas, los puntos de contacto con los actores involucrados y los recursos que soportan el proceso. Se detalla la experiencia del usuario a lo largo de tres momentos: antes, durante y después del proceso. En la etapa inicial se contempla la recolección de los tachos de residuos orgánicos en los mercados y su traslado hacia la planta de compostaje. Durante la fase operativa, el sr. Víctor se encarga de que los residuos orgánicos ingresen al sistema de pretratamiento, donde son procesados hasta obtener material orgánico limpio, el cual se coloca en las fosas de compostaje. Finalmente, en la etapa de cierre, el compost es empaquetado y distribuido a los comerciantes y vecinos durante el paso inicial, el recojo de los tachos.

En el nivel intermedio se identifican los puntos de contacto o touchpoints, los cuales incluyen espacios físicos como la planta de compostaje, el módulo de pretratamiento y el área de compostaje, además de interacciones directas entre el personal operativo, supervisores y actores externos. Asimismo, se incorporan canales de comunicación y registro de información, como la visualización de datos de pesaje en la computadora y la coordinación mediante herramientas de comunicación.

A nivel de actividades internas o backstage, se describen los procesos que permiten sostener la operación del servicio. Entre ellos se encuentran la capacitación del personal, la supervisión del módulo de pretratamiento, el control de calidad del material orgánico, la validación de datos de producción y el empaquetado final del compost. También se considera la participación de actores de apoyo como la municipalidad, los mercados del distrito,

estudiantes y organizaciones vinculadas al ámbito ambiental, los cuales contribuyen al fortalecimiento del sistema.

En la parte inferior del blueprint se presentan los artefactos que hacen posible la operación del servicio. Estos incluyen los tachos de segregación, el camión recolector, el módulo de pretratamiento, los sistemas de pesaje, la computadora con software de registro, así como las herramientas utilizadas en el proceso de compostaje y los materiales de empaque e información.

En conjunto, el blueprint del servicio EcoFiltro permite evidenciar la articulación entre las actividades del usuario, los procesos internos y los elementos de soporte tecnológico, mostrando un sistema integrado orientado a mejorar la segregación en origen, reducir la carga operativa del personal de planta y optimizar la eficiencia en la producción de compost.

2.3.2. Artefactos

El Programa Municipal EcoFiltro es un sistema que está compuesto por un conjunto de artefactos distribuidos a lo largo de todas las etapas del servicio.
En la fase inicial, ubicados en el punto de origen, es decir, en los mercados, se utilizan tachos para residuos orgánicos con rejillas y señalización, los cuales les sirven a los comerciantes como guía para una segregación más adecuada desde el inicio. En esta misma etapa, aparece el sr. Víctor, quién es el encargado de pasar los tachos al camión municipal de recolección de residuos orgánicos para transportar de manera diferenciada los residuos hacia la planta de compostaje.

En la etapa intermedia, ya en la planta, los residuos orgánicos son colocados por el sr. Víctor en la tolva 1, quién al terminar de

ponerlos debe encender el módulo de pretratamiento, el cual integra equipos como el trommel y el sistema de separación por flujo de aire, permitiendo la depuración del material orgánico y la reducción de impurezas antes del compostaje.

Al finalizar la etapa de pretratamiento, los orgánicos limpios pasan a la tolva 2, la cual tiene un sistema de pesaje conectado a una computadora con software local de registro, el cual permite el monitoreo del volumen de residuos procesados y la generación de información para la toma de decisiones. Este proceso se complementa con herramientas de compostaje, que son utilizadas por el sr. Víctor para lograr un producto final de calidad.

Por último, volvemos al paso inicial, al mercado, donde el compost ya empaquetado es entregado a los participantes del programa junto con afiches informativos, para la comunicación del impacto del sistema hacia la comunidad. Estos artefactos permiten que el sistema EcoFiltro funcione de manera integrada a lo largo de todo el flujo del servicio, asegurando la conexión entre la segregación, el pretratamiento y la valorización final del residuo orgánico.

2.3.3. Experimentos

El objetivo del proceso de experimentación del Programa Municipal EcoFiltro fue evaluar la comprensión, viabilidad y aceptación del sistema propuesto dentro del contexto real de la gestión de residuos orgánicos en la Municipalidad de Pueblo Libre. Este proceso se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, permitiendo analizar la interacción de los actores con la propuesta a partir de su experiencia y percepción del sistema.

La experimentación se estructuró en dos momentos: una fase inicial de levantamiento de información mediante entrevistas a

actores clave del sistema, como los trabajadores de la planta y los ingenieros a cargo de la planta, y una fase final de validación del prototipo visual del servicio, lo que permitió contrastar las percepciones iniciales con la comprensión del modelo propuesto.

El sistema EcoFiltro fue representado mediante un prototipo de carácter visual, construido a partir de diagramas de flujo, fotografías referenciales y videos explicativos que simulan el funcionamiento del servicio en sus distintas etapas. Este prototipo no corresponde a una implementación física operativa, sino a una representación del sistema de servicio que permite ver cómo sería la interacción entre actores, procesos y artefactos involucrados en la gestión de residuos orgánicos. Se modeló el flujo del residuo desde su segregación en los mercados, su recolección y traslado hacia la planta de compostaje, hasta su procesamiento en el módulo de pretratamiento, su transformación final en compost y el empaquetado y reparto de este. Asimismo, se incorporó la representación del sistema de monitoreo de pesaje como elemento de soporte para la comprensión del flujo del material y la eficiencia del proceso. Este prototipo permitió comunicar la propuesta de manera clara a los actores involucrados, facilitando su análisis y comprensión antes de su posible implementación.

Para la validación del sistema EcoFiltro se aplicaron tres técnicas principales:

- Entrevistas semiestructuradas a actores clave del sistema.
- Observación directa del contexto operativo en planta.
- Sesiones de presentación del prototipo visual del servicio.

Los participantes incluyeron comerciantes de mercados, trabajadores de la planta de compostaje e ingenieros responsables

del proceso. La mayoría de entrevistas se realizaron de manera presencial, lo que permitió una comprensión más directa del contexto operativo. En dos casos específicos, la recolección de información se realizó mediante medios digitales debido a limitaciones de disponibilidad, manteniendo la estructura metodológica previamente definida.

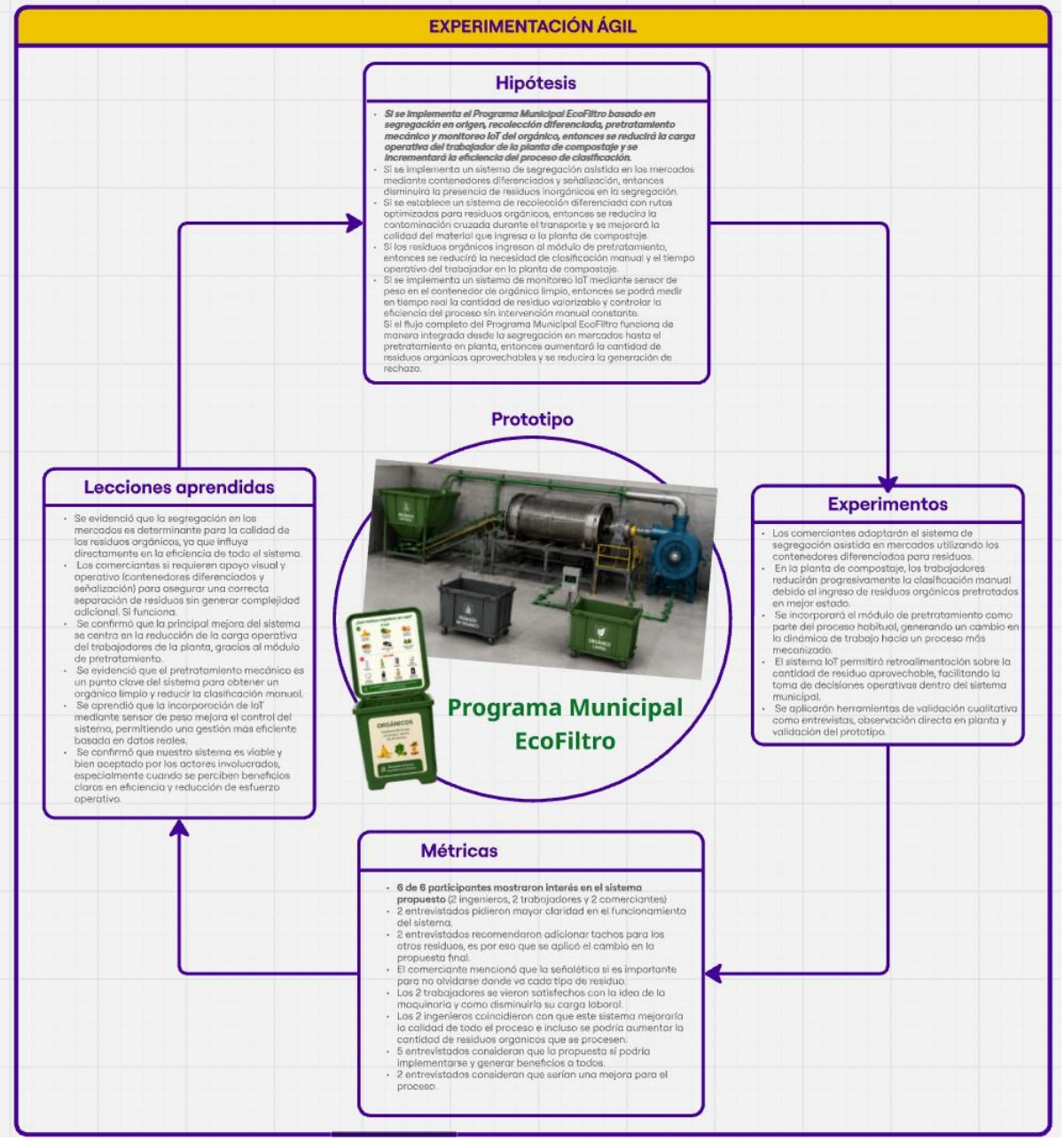
En la etapa inicial, los actores evidenciaron que el principal problema del sistema no se limita al proceso interno de la planta, sino que se origina en la segregación inadecuada de residuos en los mercados. Esto genera la llegada de residuos mezclados, incrementando la carga operativa del personal y reduciendo la eficiencia del proceso de clasificación. Asimismo, se identificaron problemas asociados a la falta de estandarización en el uso de contenedores, la limitada organización en el sistema de recolección y la ausencia de mecanismos de control previo al ingreso de residuos a la planta.

Tras la presentación del prototipo visual del sistema EcoFiltro, los participantes mostraron una mejor comprensión del flujo integral del servicio, especialmente en relación con la separación por etapas: segregación en mercados, recolección, pretratamiento y obtención de compost. Se evidenció una valoración positiva del sistema propuesto, particularmente en lo relacionado con la reducción del esfuerzo operativo y la mejora en la organización del flujo de residuos. Asimismo, se identificó la importancia de la señalización en mercados y la claridad del sistema de segregación como factores clave para su implementación.

A continuación, se presenta el esquema de experimentación ágil del sistema EcoFiltro, el cual sintetiza el proceso de prototipado, validación y aprendizaje desarrollado durante la investigación.

Figura 11

Experimento ágil EcoFiltro.



A partir de los hallazgos obtenidos en la validación, el diseño del sistema EcoFiltro fue refinado mediante ajustes en la estructura del flujo de servicio y en la comunicación del sistema hacia los actores involucrado permitiendo mejorarlo hasta llegar a una versión más

clara del sistema, alineada con las necesidades de los usuarios y validada durante el proceso.

.

Estas iteraciones se centraron en fortalecer la claridad del proceso de segregación en origen, mejorar la comprensión del sistema de recolección diferenciada y reforzar la representación del módulo de pretratamiento como etapa clave del proceso.

De este modo, el prototipo evolucionó hacia una versión más coherente y comprensible del sistema, alineada con las necesidades identificadas durante la investigación.

El proceso de experimentación permitió validar que el principal punto crítico del sistema de gestión de residuos orgánicos se encuentra en la etapa de origen, más que en la planta de tratamiento. Asimismo, evidenció que la comprensión del flujo del servicio mejora significativamente cuando este es representado de forma visual y estructurada.

En conjunto, los resultados obtenidos permitieron validar la coherencia del sistema EcoFiltro como propuesta de rediseño del servicio de gestión de residuos orgánicos, así como su viabilidad conceptual dentro del contexto de la Municipalidad de Pueblo Libre.

III. Conclusiones y recomendaciones

2.1. Conclusiones

El desarrollo del Programa Municipal EcoFiltro permitió entender que el punto crítico del sistema se origina, principalmente, en la gestión de residuos orgánicos en Pueblo Libre se origina en la segregación en los mercados, lo que termina afectando todo el flujo del sistema y generando una mayor carga de trabajo en la planta de compostaje.

Se pudo evidenciar que cuando los residuos llegan mezclados, el trabajo del Sr. Víctor se vuelve más lento y pesado, ya que debe dedicar más tiempo a la clasificación manual. Esto reduce la eficiencia del proceso y genera una sobrecarga operativa constante.

Por otro lado, la propuesta EcoFiltro, entendida como un sistema que conecta la segregación en mercados, la recolección diferenciada, el pretratamiento y el control del flujo de residuos, resulta una alternativa viable para ordenar mejor todo el proceso de gestión de residuos orgánicos.

También se comprobó que representar el sistema de forma visual ayudó bastante a que los actores entiendan cómo funciona la propuesta. El prototipo permitió explicar mejor el flujo del servicio antes de pensar en una implementación real.

En cuanto a la validación, las entrevistas y la observación mostraron que los actores aceptan positivamente la propuesta, aunque resaltan que es importante mejorar la señalización en los mercados y reforzar la educación sobre cómo separar correctamente los residuos desde el origen.

Finalmente, se puede concluir que EcoFiltro tiene potencial para mejorar la eficiencia del sistema municipal de residuos orgánicos, reducir la carga de trabajo en planta y obtener un compost de mejor calidad, en la medida en que se optimice el flujo integral del sistema desde la segregación en origen hasta el tratamiento en planta.

2.2. Recomendaciones

Se recomienda considerar la implementación progresiva del sistema EcoFiltro mediante una fase piloto en mercados seleccionados del distrito

de Pueblo Libre, con el fin de evaluar su funcionamiento en condiciones reales y ajustar su desempeño según el contexto operativo.

Asimismo, se sugiere fortalecer la etapa de segregación en origen mediante estrategias de sensibilización dirigidas a los comerciantes y vecinos, complementadas con señalización clara y estandarizada en los tachos de residuos orgánicos ubicados directamente en los puestos de venta, con el fin de mejorar la calidad del material desde su generación.

Se recomienda también reforzar la conexión entre los actores del sistema, especialmente entre los mercados y la planta de compostaje, mediante mecanismos de coordinación que permitan asegurar la continuidad del flujo de residuos y reducir la presencia de material contaminado en la planta.

Por otro lado, se sugiere que el sistema de monitoreo del flujo de residuos sea considerado como una herramienta progresiva de apoyo a la gestión municipal, permitiendo en el futuro mejorar la toma de decisiones operativas y el control del rendimiento del sistema.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones profundicen en la escalabilidad del modelo EcoFiltro hacia otros distritos con características similares, evaluando su adaptación en contextos urbanos con diferentes niveles de cultura de segregación.

IV. Referencias Bibliográficas

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (s. f.). *Residuos sólidos municipales generados en la provincia de Lima, según distrito, 2018-2024* [Conjunto de datos]. Recuperado el 3 de julio de 2026, de https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/c-residuos-10291/

Chacaltana Lara, N. S. (2023). Valorización de residuos sólidos en el Perú. *Revista de Climatología, 23,* 3281–3290. https://doi.org/10.59427/rcli/2023/v23cs.3281-3290

Cook, E., Ionkova, K., Bhada-Tata, P., Yadav, S., & van Woerden, F. (2026). *What a waste 3.0: Global snapshot of solid waste management toward circularity until 2050.* World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-2309-1

Vega Leyva, C. A. (2025). *Mejoramiento de la calidad de los suelos para la obtención del compost mediante los residuos orgánicos en la ciudad de Ica.* Universidad San Luis Gonzaga, Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica. https://hdl.handle.net/20.500.13028/6174

Gómez Donis, D. E. (2023). *Diseño de investigación de una propuesta para una planta de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos en el Centro Universitario de Petén (CUDEP)* [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional USAC. http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/19529

V. Anexos

4.1. Herramientas de Recojo de Información

4.1.1. Anexo 1: Entrevistas para identificación de la problemática

Entrevista 1

Nombre del entrevistado/a: Leonardo

Edad: 24 años

Fecha y hora: 1/6/26 - mediodía

Ocupación: Encargado del compostaje en la Planta de Compostaje de Pueblo Libre.

¿Cómo es el recojo de los residuos en los mercados?

- Hay un horario establecido de 7 AM a 1 PM, de lunes a sábado. Para el recojo en los mercados, vamos 3 y el chofer. Nosotros 3 nos encargamos de recoger los residuos puesto por puesto y la mayoría de las veces separarlos nosotros mismos.

Mencionaste que también recogen de otros lugares. ¿Cuáles son? ¿También aquí en Pueblo Libre?

- Sí, también recogemos de los vecinos de Pueblo Libre que están inscritos en el programa. Como es un programa de la municipalidad de Pueblo Libre, solo trabajamos dentro del distrito, a excepción de que las mismas personas nos traigan sus residuos. De esa forma sí podrían ser parte del programa.

¿Cuáles son los desafíos que enfrentan mayormente?

- El trabajo es bastante fácil y como los vecinos ya saben cómo funciona, pues no hay muchos problemas. Diría que trabajar con los mercados es lo más retador, ya que no separan bien sus residuos, teniendo así que nosotros separarlos y eso nos hace retrasar un poco el proceso. Tienen una gran carga de residuos, entonces se vuelve un proceso que nos toma mucho más tiempo de lo que debería.

Entrevista 2

Nombre del entrevistado/a: Sr. Rómulo

Edad: 61 años

Fecha y hora: 1/6/26 - mediodía

Ocupación: Encargado del compostaje en la Planta de Compostaje de Pueblo Libre.

¿Con qué mercado(s) trabajan?

- Trabajamos con 5 mercados aquí en Pueblo Libre. El de Amazonas, el que está en la Av. La Marina, Bolívar, Pachacútec y el que está aquí a la vuelta, el principal de Pueblo Libre. Todos determinados por la municipalidad, vamos de lunes a sábado de 7 AM a 1 PM. Y ya ahí recogemos en nuestro propio camión los residuos.

¿Cómo es trabajar con los mercados directamente? ¿Cómo es la organización de estos? Porque aquí veo que ustedes lo tienen todo dividido en cuanto a los residuos, ¿se los entregan así de separados?

- Los vendedores cumplen con la parte de dejar la basura a las horas ya destinadas, pero no las separan; nosotros tenemos que separar los residuos porque no saben cómo hacerlo, creo yo. A diferencia de los vecinos que sí separan mucho mejor sus residuos, en el mercado no. Lo bueno es que, como son su mayoría, son frutas o verduras; no hay mucha basura adicional, pero sí invertimos tiempo separando todo para no contaminar el proceso del compostaje.

¿Qué impacto positivo genera el aprovechamiento de residuos orgánicos en la ciudad o comunidad? Y, ¿qué mejorarías?

- Bueno, diría yo. Cuidamos nuestro distrito, hay más orden, menos basura, menos olores feos en las calles también. Una vez el compost ya está, se les entrega a los mismos vecinos, o lo utilizamos para mejorar las áreas verdes.
- Mejoraría la información que los vecinos tienen, ayudaría a los mercados a que sepan separar la basura, dividir los tachos, enseñarles para que así ahorremos tiempo en nuestro trabajo.

Entrevista 3

Nombre del entrevistado/a: Jesús Quicaño

Edad: 38 años

Fecha y hora: 1/6/26

Ocupación: Gerente de Control Ambiental Perú

¿Cómo nació la idea de Control Ambiental y su trabajo con el compostaje?

- La idea nace a partir de la necesidad de ofrecer una solución ambiental más responsable frente al problema de los residuos orgánicos. Muchas veces estos residuos son vistos solo como basura, cuando en realidad pueden convertirse en compost y ser reutilizados. Nuestro propósito es aportar a una gestión más sostenible y promover una economía circular.

¿Cuáles son los principales retos que enfrentan en la gestión de residuos orgánicos?

- Uno de los principales retos que enfrentamos es la falta de segregación adecuada. Casi siempre los residuos orgánicos llegan mezclados con plásticos, bolsas, tecnopor u otros materiales, y eso dificulta el proceso de compostaje. Otro reto que considero importante es la falta de cultura ambiental que tenemos, porque todavía muchas personas no saben qué es importante separar los residuos.

¿Actualmente trabajan directamente con algún mercado o municipalidad?

¿Con qué distritos de Lima trabajan principalmente?

- Tenemos presencia y servicios en Lima, pero los distritos específicos pueden variar según los clientes, convenios o los proyectos activos que hay en ese momento. En general, buscamos trabajar con zonas donde exista una alta generación de residuos orgánicos y donde haya interés por implementar soluciones ambientales sostenibles. Y actualmente no estamos trabajando con ningún mercado.

Entrevista 4

Nombre del entrevistado/a: Sr. Hilario

Edad: 72 años

Fecha y hora: 4/6/26 - 11:00 am

Ocupación: Encargado del compostaje en la Planta de Compostaje de Pueblo Libre

¿Cómo es el proceso de compostaje que se realiza en la planta?

- Los residuos orgánicos son depositados en fosas de compostaje donde permanecen durante varias etapas. Durante el proceso deben ser volteados periódicamente, regados y posteriormente tamizados para obtener compost apto para su utilización. Como meta mensual tienen que hacer 15 toneladas.

¿Cuáles son las principales dificultades que enfrenta en su trabajo?

- Una de las tareas más exigentes es el volteo constante de los residuos, ya que requiere un esfuerzo físico considerable. Además, ocasionalmente llegan residuos inorgánicos como plásticos, botellas o latas mezclados con los residuos orgánicos, lo que obliga a realizar una clasificación adicional.

¿Qué impacto considera que tiene su trabajo en la comunidad?

- El compost generado es utilizado para mejorar áreas verdes y jardines del distrito, así como para entregarlo a vecinos mediante programas de intercambio. Considera que su trabajo contribuye al cuidado del medio ambiente y al bienestar de la comunidad.

Entrevista 5

Nombre del entrevistado/a: Jesús Aquipa

Edad: 25

Fecha y hora: 4/6/26 - 11:30 am

Ocupación: Trabajador en la planta de compostaje de Pueblo Libre.

¿Cómo funciona la recolección de residuos orgánicos dentro del programa?

- La recolección se realiza de lunes a sábado mediante rutas planificadas previamente. Los vecinos inscritos en el programa coordinan mediante un grupo de WhatsApp y comunican su disponibilidad para entregar los residuos, lo que permite organizar el recorrido diario.

¿Cómo es el trabajo de recolección en los mercados?

- Actualmente trabajan con un mercado del distrito. El equipo recoge los residuos puesto por puesto, ya que no existe un punto único de acopio. Considera que el proceso sería más eficiente si todos los residuos orgánicos fueran depositados en un contenedor común para facilitar la recolección.

¿Qué desafíos y actividades complementarias desarrolla el programa?

- Uno de los principales desafíos es que las rutas suelen extenderse más allá del horario establecido. Además, el programa realiza talleres, ferias ambientales y actividades de Ecotrueque para promover el reciclaje y la correcta gestión de residuos entre los vecinos.

4.1.2. Anexo 2: Entrevistas de validación de la propuesta

Entrevista 1

Nombre del entrevistado: Alicia

Edad: 43 años

Ocupación: Comerciante de frutas del mercado.

¿Qué le pareció el sistema de segregación que proponemos para los comerciantes del mercado?

- En general, me parece una buena idea porque ayudaría a que los residuos estuvieran mejor separados desde el inicio. A veces uno trabaja rápido y termina mezclando algunas cosas por falta de tiempo o porque todos los tachos se parecen. Si el sistema ya viene organizado y es fácil de entender, creo que sí sería útil para nosotros.

¿Considera que tendría alguna dificultad para utilizar los contenedores propuestos?

- No creo que sea complicado, pero sí considero importante que los tachos tengan una buena señalización. Cuando uno está atendiendo clientes todo el tiempo, puede olvidar dónde va cada residuo; entonces, los colores, imágenes o letreros ayudarían bastante para no equivocarse. Si está bien identificado, pienso que cualquier comerciante podría adaptarse a hacerlo correctamente.

¿Qué mejoraría o agregaría a la propuesta?

- Yo añadiría contenedores para los demás residuos, no solamente para los orgánicos. Así todo quedaría más ordenado y sería más fácil separar correctamente cada tipo de desecho. Me parece que eso haría que el sistema fuera más completo.

Entrevista 2

Nombre del entrevistado/a: Carlos Salazar

Edad: 35 años

Ocupación: Ingeniero Ambiental

¿Qué opinión le merece el sistema de pretratamiento propuesto para mejorar el manejo de los residuos orgánicos?

- Considero que la propuesta tiene bastante potencial porque uno de los principales problemas en las plantas de compostaje es que los residuos llegan mezclados con materiales que no deberían estar ahí. Si el pretratamiento permite retirar esas impurezas desde etapas tempranas, el proceso posterior será mucho más eficiente y el compost tendrá una mejor calidad.

¿Cree que este sistema tendría un impacto en el proceso de compostaje?

- Sí. Al mejorar la calidad del material que ingresa a la planta, también mejora todo el proceso. Incluso podría aumentar la cantidad de residuos orgánicos que se procesan diariamente porque habría menos tiempo destinado a la clasificación manual y más capacidad para aprovechar el material orgánico.

¿Qué recomendaciones haría para fortalecer la propuesta?

- Me parece una propuesta viable. Lo único que sugeriría es explicar un poco mejor cómo funciona el sistema completo para que cualquier usuario trabajador de la planta pueda comprender fácilmente el recorrido de los residuos y la función de cada componente.

Entrevista 3

Nombre del entrevistado/a: Maicol

Edad: 50 años

Ocupación: Trabajador de la Planta de Compostaje de Pueblo Libre.

¿Qué impresión le dejó la propuesta presentada?

- Está interesante porque busca solucionar uno de los problemas que vivimos todos los días, que es recibir residuos mezclados y tener que separarlos manualmente antes de continuar con el proceso.

¿Considera que el sistema de pretratamiento facilitaría su trabajo?

- Sí. Si el material llega mejor separado desde el mercado, el trabajo sería mucho más sencillo y habría menos esfuerzo físico. Eso también permitiría avanzar más rápido con el resto de actividades de la planta.

¿Qué sugerencia haría sobre la propuesta?

- Me gustaría que durante la implementación se explicara claramente cómo funciona todo el sistema para que tanto comerciantes como trabajadores comprendan bien el proceso.

Entrevista 4

Nombre del entrevistado/a: Jesús Aquipa

Edad: 25 años

Ocupación: Trabajador de la planta de compostaje.

¿Cómo evalúa la propuesta presentada?

- Me parece una propuesta bastante interesante porque aborda el problema desde el origen. Cuando la segregación se realiza correctamente desde los mercados, todo el sistema funciona mejor y disminuye la contaminación de los residuos orgánicos.

¿Qué opina de incorporar un sensor de peso para el monitoreo del sistema?

- Es un valor agregado importante. Contar con datos reales permite conocer cuánto residuo orgánico se está recuperando y facilita la toma de decisiones. Además, ayuda a evaluar el funcionamiento del sistema con indicadores objetivos. Es algo que ayudaría mucho en la Planta de compostaje.

¿Qué recomendaciones haría para mejorar el sistema?

- Yo incorporaría contenedores para los demás tipos de residuos. De esa manera se fomentaría una segregación más completa y se evitaría que algunos residuos terminen mezclados nuevamente.

Entrevista 5

Nombre del entrevistado/a: Sr. Hilario

Edad: 72 años

Ocupación: Trabajador de planta de compostaje de Pueblo Libre.

¿Cómo describiría el proceso actual de clasificación de residuos en la planta?

- Gran parte del trabajo nos toca separar manualmente los residuos que llegan mezclados del mercado, los vecinos clasifican mejor sus residuos. Muchas veces encontramos bolsas, botellas, envolturas y otros materiales, incluso comida. Eso nos retrasa bastante el proceso

que tenemos que cumplir y hace que el trabajo sea mucho más pesado.

¿Qué le parece el módulo de pretratamiento presentado?

- Me parece una muy buena idea porque ayudaría a que los residuos lleguen mucho más limpios. Y nos tomaría menos tiempo clasificando manualmente y más tiempo dedicado al proceso de compostaje. El sistema parece que solo necesita estar mirando o verificando que funcione, entonces es mejor.

¿Considera que esta propuesta beneficiaría su trabajo?

- Sí, claro. Reduciría bastante la carga física que presentamos diario y permitiría que el proceso sea más rápido y ordenado. Creo que sería una mejora importante para quienes trabajamos en la planta.

Entrevista 6

Nombre del entrevistado/a: Mario

Edad: 37

Ocupación: Comerciante de verduras

¿Qué le pareció el sistema de segregación propuesto?

- Me parece una buena iniciativa porque ayudaría a mantener más ordenados los residuos. Y eso beneficia a la planta de compostaje y al medio ambiente, creo que vale la pena implementarlo.

¿Considera que tendría dificultades para utilizar el sistema?

- No me parece difícil, pero sí considero importante que los tachos tengan una buena señalización. Cuando uno está trabajando rápido puede confundirse, estás pensando den dar vuelto, o tienes mucha

gente en tu puesto, entonces los colores o imágenes ayudarían bastante para recordar dónde debe colocarse cada residuo.

¿Qué mejoraría de la propuesta?

- Quizás también tachos para los otros residuos que generamos durante el día. Así podríamos separar todo correctamente y mantener el mercado más organizado, que sean de distintos colores para que sea más fácil.

4.2 Fotografías del proceso de observación de campo

Figura 12

Planta de compostaje de Pueblo Libre.



Figura 13

Planta de compostaje de Pueblo Libre.



Figura 14

Sr. Hilario Condor, trabajador de la planta de compostaje.

