

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**



**PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LOGÍSTICA INVERSA PARA  
INCREMENTAR LA RENTABILIDAD EN LA PLANTA DE  
RECICLAJE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE  
FERREÑAFE**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE  
OPERACIONES Y LOGÍSTICA**

**AUTOR**

**MARIA LUISA ESPINOZA GARCIA URRUTIA**

**ASESOR**

**MAXIMILIANO RODOLFO ARROYO ULLOA**

<https://orcid.org/0000-0002-6066-6299>

**Chiclayo, 2020**

**PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LOGÍSTICA INVERSA  
PARA INCREMENTAR LA RENTABILIDAD EN LA PLANTA  
DE RECICLAJE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE  
FERREÑAFE**

PRESENTADA POR:

**MARIA LUISA ESPINOZA GARCIA URRUTIA**

A la Escuela de Posgrado de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el grado académico de

**MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON MENCIÓN  
EN GESTIÓN DE OPERACIONES Y LOGÍSTICA**

APROBADA POR:

César Ulises Cama Peláez  
PRESIDENTE

Jorge Augusto Mundaca Guerra  
SECRETARIO

Maximiliano Rodolfo Arroyo Ulloa  
VOCAL

## **Dedicatoria**

A mi esposo Lucio Antonio por su apoyo incondicional.

A mi madre María Luisa, a mi tía Delia y a mi abuela Natividad por sus enseñanzas y constante aliento.

## **Agradecimiento**

A Dios y a la Virgen María

A mi esposo Lucio Antonio

A mis amigas de toda la vida, Martha Tesén y Elena Chau

A mis amigos Juan Torres, Vanessa Castro y María Arangurí por su apoyo

A mi asesor, Dr. Maximiliano Arroyo

A mi jurado, Mgtr. César Cama y Dr. Jorge Mundaca

A la Municipalidad Provincial de Ferreñafe

## Índice

Resumen .....	10
Abstract .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....	15
1.1. ANTECEDENTES .....	15
1.2. BASE TEÓRICA CONCEPTUAL .....	18
1.2.1. Logística Inversa .....	18
1.2.2. Sistemas de logística inversa .....	22
1.2.3. Rentabilidad.....	24
1.2.4. Planta de Reciclaje .....	26
1.2.5. Residuos sólidos .....	26
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	29
2.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	30
2.3. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	30
2.4. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS .....	31
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
3.1. DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE RECICLAJE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE FERREÑAFE.....	32
3.1.1. Aspectos generales de la Provincia de Ferreñafe .....	32
3.1.2. Situación actual del manejo de residuos sólidos en la ciudad de Ferreñafe .....	33
3.1.3. Planta de reciclaje.....	45
3.2. DISEÑO DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA PLANTA DE RECICLAJE EN LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE FERREÑAFE...	68
3.2.1. Cadena logística inversa propuesta de los residuos sólidos urbanos inorgánicos aprovechables.....	68

3.2.2. Desarrollo del modelo de logística inversa para la planta de reciclaje de la Provincia de Ferreñafe .....	78
3.3. SIMULACIÓN DEL MODELO PROPUESTO .....	81
3.3.1. Solución del modelo propuesto .....	81
CONCLUSIONES .....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	87
ANEXOS.....	93

## Lista de tablas

Tabla 1. Código de colores para los residuos del ámbito municipal.....	27
Tabla 2. Datos de población y superficie territorial de la Provincia de Ferreñafe.....	33
Tabla 3. Generación de residuos sólidos domiciliarios por tipo para los años 2019 y 2020 ...	34
Tabla 4. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por tipo para los años 2019 y 2020 .....	35
Tabla 5. Proyección de la generación de residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe para los siguientes 10 años.....	36
Tabla 6. Datos de la recolección de RSM en el distrito de Ferreñafe .....	37
Tabla 7. Proyección de emisiones de GEI por eliminación de residuos en el botadero.....	39
Tabla 8. Rutas y horarios de recolección de residuos sólidos aprovechables .....	40
Tabla 9. Residuos acopiado, seleccionado y vendido del 2013 al 2019, en toneladas al año..	44
Tabla 10. Porcentaje de residuo inorgánico aprovechable recuperado .....	44
Tabla 11. Costo perdido por descarte.....	53
Tabla 12. Costo perdido por mano de obra ociosa.....	54
Tabla 13. Pérdida económica por no acopiar el residuo aprovechable .....	56
Tabla 14. Pérdida relacionada al desempeño de los trabajadores de acopio y selección de residuos sólidos .....	58
Tabla 15. Pérdida por venta de residuo plástico sin valor agregado .....	61
Tabla 16. Costo total eliminación en el botadero.....	62
Tabla 17. Áreas de la planta de segregación .....	64
Tabla 18. Costo de residuo reciclado .....	65
Tabla 19. Venta de residuo sólido reciclado en soles/año.....	66
Tabla 20. Utilidad de la planta de reciclaje.....	66
Tabla 21. Proyección de la generación de residuos aprovechables inorgánicos domiciliarios y no domiciliarios.....	70
Tabla 22. Proyección de la generación de residuos: papel y cartón.....	70
Tabla 23. Proyección de la generación de residuos: plásticos .....	71
Tabla 24. Proyección de la generación de residuos: vidrios y metales .....	71
Tabla 25. Tecnología para la planta de reciclaje.....	76
Tabla 26. Áreas definidas de la planta de reciclaje .....	76

## Lista de figuras

Figura 1. Comparación entre logística directa e inversa .....	19
Figura 2. Ciclo logístico del producto .....	19
Figura 3. Procesos de Logística Inversa.....	21
Figura 4. Integración de la gestión de residuos y la logística inversa .....	23
Figura 5. Marco de la logística inversa para el reciclaje de residuos domésticos.....	24
Figura 6. Mapa de la provincia de Ferreñafe .....	32
Figura 7. Camión compactador de residuos sólidos.....	37
Figura 8. Vista del botadero ubicado a 11 km de Ferreñafe .....	38
Figura 9. Flujo de residuos sólidos municipales en el sistema tradicional .....	38
Figura 10. Motofurgoneta usada en el acopio de residuos sólidos.....	40
Figura 11. Personal acopiando los residuos sólidos de las viviendas que participan del programa de segregación de residuos sólidos de la Municipalidad de Ferreñafe .....	41
Figura 12. Vista frontal de la Planta de Segregación de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe .....	42
Figura 13. Flujo de residuos sólidos municipales en el programa de segregación en la fuente recolección selectiva de residuos sólidos .....	42
Figura 14. Plano de la actual planta de reciclaje .....	46
Figura 15. Descarga de residuos sólidos aprovechables .....	47
Figura 16. Descarga de residuos sólidos aprovechables .....	48
Figura 17. Diagrama de bloques del proceso observado en la planta de reciclaje.....	49
Figura 18. Diagrama de Operaciones el Proceso de la planta de reciclaje.....	50
Figura 19. Diagrama de análisis del proceso observado en la planta de reciclaje .....	51
Figura 20. Frecuencia de capacitación de los trabajadores de la Planta de Reciclaje.....	52
Figura 21. Mano de obra ociosa .....	54
Figura 22. Obreras en pleno recorrido de calles acopiando los residuos sólidos.....	55
Figura 23. Personal trabajando sin supervisión.....	57
Figura 24. Faja de selección malograda .....	59
Figura 25. Parte de la faja (motor y contenedor) en desuso .....	59
Figura 26. Compactadora en desuso .....	60
Figura 27. Material seleccionado sin ningún tratamiento .....	60
Figura 28. Alto porcentaje de mermas .....	61

Figura 29. No se tienen estandarizados los procesos .....	63
Figura 30. El residuo seleccionado está ubicado en el área de producción .....	64
Figura 31. Configuración de la cadena de logística inversa para residuos inorgánicos aprovechables de Ferreñafe .....	69
Figura 32. Diagrama de flujo del proceso propuesto en la planta de reciclaje .....	73
Figura 33. Diagrama de operaciones del proceso propuesto en la planta de reciclaje .....	74
Figura 34. Balance de materia del proceso .....	75
Figura 35. Plano de la planta de reciclaje propuesta .....	77
Figura 36. Captura 1 de pantalla de software TORA .....	81
Figura 37. Captura 2 de pantalla de software TORA .....	81
Figura 38. Captura 3 de pantalla de software TORA .....	82
Figura 39. Captura 1 de pantalla de software TORA para resultado actual .....	83
Figura 40. Captura 2 de pantalla de software TORA para resultado actual .....	83
Figura 41. Captura 3 de pantalla de software TORA para resultado actual .....	84
Figura 42. Comparación utilidad actual con el modelo propuesto .....	85
Figura 43. Captura 1 de primer escenario en TORA .....	108
Figura 44. Captura 2 de primer escenario en TORA .....	109
Figura 45. Captura 1 de segundo escenario en TORA .....	110
Figura 46. Captura 2 de segundo escenario en TORA .....	110
Figura 47. Captura 3 de segundo escenario en TORA .....	111

## Resumen

Los residuos sólidos constituyen un problema en la sociedad, una gestión adecuada de estos permite disminuir los impactos ambientales negativos que se generan por su eliminación descontrolada. Las municipalidades tienen la función de gestionarlos priorizando su minimización y en lo posible, su valorización como lo indica la actual legislación. La Municipalidad Provincial de Ferreñafe implementó un programa que promueve la separación de residuos en el origen y su posterior recolección selectiva. En nueve años de funcionamiento sólo se ha aprovechado el 1% de los residuos con potencial valor. La planta de reciclaje que forma parte de este programa a su vez presenta problemas que decantan en una baja rentabilidad, no sólo económica sino social, no genera puestos de trabajo, no incentiva la cultura ambiental y no contribuye a la disminución de gases de efectos invernadero. El presente trabajo propone un modelo basado en logística inversa, con la mejora de las condiciones de la planta de reciclaje, ampliando el tratamiento de diecisiete tipos de residuos, cuatro se reducirán de tamaño mediante molienda. Para simular el modelo se aplicó programación lineal, arrojando una utilidad neta de 12 220 soles para el año 2030. Es necesario que se haga un trabajo conjunto de todos los actores de esta cadena, empezando con los proveedores, es decir la población, cuya participación es un eje importante que soporta los flujos inversos. La sensibilización y capacitación es una constante a lo largo del tiempo y que tiene que ser reforzada por las autoridades, recolectores y las empresas proveedoras de los diversos productos terminados que formarán parte de los residuos a reciclar.

**Palabras claves:** Planta de reciclaje, Logística inversa, Rentabilidad, Residuos Sólidos

### **Abstract**

Solid wastes are a problem in society, an adequate management of this allows to reduce the negative environmental impacts that are generated by its uncontrolled disposal. The municipalities have the function of managing them prioritizing their minimization and, where possible, their valorization as indicated by current legislation. The Provincial Municipality of Ferreñafe implemented a program that promotes the separation of waste at the source and its subsequent selective collection. In nine years of operation, only 2% of waste with potential value has been used. The recycling plant that is part of this program, in turn, presents problems that lead to low profitability, not only economic but social, does not generate jobs, does not encourage environmental culture, and does not contribute to the reduction of greenhouse gases. The present work proposes a model based on reverse logistics, with the improvement of the recycling plant conditions, expanding the treatment of seventeen types of waste, four of which will be reduced in size by grinding. To simulate the model, a linear application was applied, yielding a net profit of 12 220 soles. It is necessary that a joint work be carried out by all the actors in this chain, starting with the suppliers, that is, the population, whose participation is an important axis that supports reverse flows. Awareness-raising and training is a constant over time and that must be reinforced by the authorities, collectors and the companies that supply the various finished products that will be part of the waste to be recycled.

**Keywords:** Recycling plant, Reverse logistics, Profitability, Solid Waste

## INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos constituyen un problema en la sociedad, desde varios puntos de vista: ambiental, al contaminar el agua, suelo y aire debido a su inconveniente eliminación; sanitario, por constituir un foco de vectores de enfermedades; económico, al requerir un alto presupuesto para su recojo y eliminación; así como social, por la aparición de trabajo informal. Por tanto, se requiere una gestión adecuada de residuos sólidos, que mediante diversos procesos permita, no sólo su tratamiento, sino la recuperación del valor remanente de los mismos, ya sea para su uso como materia prima o la recuperación de su valor energético.

En el año 2013, el Perú registró una generación per cápita (GPC) de residuos sólidos municipales (RSM) de 0,56 kg/hab.día que significó 13 529 t de residuos sólidos generados al día a nivel nacional. Aproximadamente, el 73 % de los RSM provienen de los domicilios y el resto, corresponde a los generados en negocios, limpieza de calles y otros similares de ámbito municipal [1] Según datos de Ministerio del Ambiente mencionado en una artículo de la web de RPP [2], actualmente el Perú genera en promedio 23 000 toneladas al día, de los cuáles sólo se reciclan 1,9 % de los residuos aprovechables. Se menciona que los peruanos consumen 30 kg de plástico al año por persona, y el 43 % de estos residuos va a botaderos, terminando en ríos y océanos.

La Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos [3] estipula que las municipalidades son responsables de planificar, de forma integral, la gestión de los residuos sólidos dentro de su territorio. Esta gestión incluye la implementación de programas de manejo y tratamiento de residuos basados en la minimización y valorización de estos. Los programas de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos facilitan el aprovechamiento de estos y aseguran su eliminación diferenciada, siendo el diseño y ejecución de estos programas un tema apremiante, considerando que sólo tres de cada cien peruanos reciclan sus residuos [4]. La Ley Orgánica de Municipalidades [5] menciona que, en cuestiones de salud y saneamiento, la administración del manejo y tratamiento de residuos sólidos municipales constituye una función específica de las municipalidades.

La Municipalidad Provincial de Ferreñafe, ubicada en el Departamento de Lambayeque, estableció su Política Ambiental Municipal en este marco legislativo y aprobó el Plan de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS) en el año 2004. Este plan ha sido actualizado año tras año para adecuarse a las exigencias de las normativas ambientales nacionales.

Desde el 2012, la Municipalidad Provincial de Ferreñafe puso en marcha, un plan piloto: el Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Domiciliarios del

Cercado de Ferreñafe, cuyo objetivo era minimizar la cantidad de residuos generados en las casas. El programa se inició con la concientización y capacitación de vecinos del cercado de Ferreñafe (576 viviendas) con la finalidad de separar los diversos residuos sólidos que generan en sus viviendas y que puedan ser aprovechados.

Actualmente, la municipalidad ha implementado el Programa de Segregación en la fuente y Recolección Selectiva de residuos sólidos inorgánicos reciclables en el Distrito de Ferreñafe, siendo sus objetivos reducir la cantidad de residuos eliminados en el botadero municipal, promover en los pobladores una cultura ambiental de segregación y reciclaje, y fomentar el desarrollo socioeconómico y laboral de los trabajadores informales dedicados al reciclaje. [6]

Como parte del programa, la municipalidad entrega sacos de polipropileno de color blanco a las viviendas del casco urbano empadronadas y cuyos habitantes han sido sensibilizados, de tal forma que puedan separar aquellos residuos sólidos aprovechables, que se pueden reciclar tales como latas, cartón, papel, metales y plásticos diversos. Estos residuos son recogidos de las viviendas por medio de una motofurgoneta. La recolección se realiza de lunes a viernes, cubriendo diferentes rutas cada día. Luego, los residuos sólidos son transportadas a la Planta de Reciclaje, donde se seleccionan por tipo de residuo, se empaquetan y se vende a una empresa comercializadora de residuos sólidos. La cantidad de residuo recolectado varía, teniendo en promedio 70 kg al día, aproximadamente el 1 % del residuo aprovechable generado en los domicilios al día, según información entregada por la Municipalidad.

La Planta de Reciclaje se ubica en la Avenida Villa Mercedes cuadra 1 en la ciudad de Ferreñafe, cuenta con un área de 250 m<sup>2</sup>, el local es de propiedad de la municipalidad. En el inicio de sus operaciones (año 2004) contaba con equipos tal como una prensa para compactar plásticos y cartones, una faja de selección con sus respectivos recipientes y una balanza electrónica. A la fecha sólo funciona la balanza, pero es compartida para otras actividades. El resto de los equipos han quedado en desuso, faltándoles varios elementos como motores, fajas, entre otros.

Dado que los ingresos económicos de la planta proceden de la venta de los materiales resultantes de la selección y entre los egresos, los costos directos e indirectos por tonelada recogida de residuos sólidos, la planta no es rentable económicamente, la utilidad calculada restando de los ingresos los costos es negativa. Por la naturaleza del programa, tampoco lo es social y ambientalmente.

En tal sentido, la logística inversa direcciona y maneja el flujo físico y de información de productos fuera de uso o residuos, reintegrándolos al ciclo productivo [7]. Los residuos sólidos municipales se encuentran dentro de esta clasificación. En la situación específica de la planta de reciclaje, los residuos aprovechables que actualmente no son acopiados, se eliminan junto con el resto de basura, al botadero ubicado a 11 km de la ciudad de Ferreñafe, originando contaminación del suelo, agua, aire y subsuelo, contribuyendo a la emisión de gases de efecto invernadero.

Es en este contexto que se formuló el problema de esta investigación: ¿En qué medida se puede incrementar la rentabilidad de la planta de reciclaje de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe mediante la aplicación de logística inversa?, para lo cual se planteó como objetivo general: Proponer la aplicación de logística inversa para incrementar la rentabilidad de la planta de reciclaje de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe, teniendo como objetivos específicos: Realizar el diagnóstico de la planta de reciclaje de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe, diseñar el modelo de logística inversa para la planta de reciclaje de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe y realizar la simulación del modelo propuesto para la planta de reciclaje de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe.

La logística inversa es una herramienta de gestión ambiental, con la que se puede mejorar la rentabilidad de una empresa, aunque ésta sea una pequeña empresa en crecimiento y con administración pública, permitiendo encontrar soluciones concretas a la problemática causada por la gestión de residuos sólidos en la Municipalidad de Ferreñafe, así como al aumento de ingresos económicos y creación de puestos de trabajos. El manejo económico de los residuos es una opción eficaz para disminuir su impacto ambiental negativo.

La propuesta permite plantear acciones que mitiguen los impactos negativos y contribuye con la gestión ambiental de la municipalidad, dándole la oportunidad de acceder al plan de incentivos a la Mejora de la Gestión y Modernización Municipal, siendo grandes beneficiarios, los pobladores de la ciudad de Ferreñafe y de esta forma, conseguir una mayor rentabilidad para una institución pública que le permita implementar programas sostenibles.

La investigación brinda una oportunidad para articular los aspectos teóricos y prácticos impartidos en esta maestría, que a la vez podrán ser compartidos con los estudiantes de pregrado y posgrado.

## CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### 1.1. ANTECEDENTES

Mesjasz-Lech [8], en el trabajo *Reverse logistics of municipal solid waste – towards zero waste cities*, analiza las tendencias principales en la gestión de residuos municipales en Polonia, en base a la cantidad de residuo manejado, tomando el concepto de ciudad cero residuos respaldado por la logística inversa. Indica que las pautas para la implementación de las tareas basada en la logística inversa radican en el desarrollo de planes provinciales de gestión de residuos. Esta investigación tuvo como objetivo identificar las tendencias en el tamaño de los flujos de residuos municipales en diversas ciudades, por lo que se midieron de forma separada. “Cero residuos” requiere de las actividades de logística inversa porque no es posible reducir los residuos municipales sin la organización adecuada de los flujos de residuos y la infraestructura. En Polonia, esta organización forma parte de planes y estrategias regionales para la gestión de residuos. Para la investigación se clasificaron las provincias polacas según las siguientes características: residuos municipales recogidos según las operaciones de tratamiento, residuos municipales recogidos por fracciones, residuos municipales mixtos recogidos, vertido de residuos municipales por zonas urbanas, desgasificación de vertederos; constituyéndose en las variables para estudiar los efectos de la implementación de soluciones de logística inversa mediante un análisis estadístico multidimensional. Se obtuvo como resultado que existe variabilidad en la intensificación de actividades hacia la creación de flujos cerrados de materiales y que la ubicación geográfica no es un factor decisivo en los análisis realizados. Las soluciones son significativas para instalaciones de procesamiento regionales que pueden atender a ciudades de diferentes provincias, permitiendo la gestión eficaz y compartida de residuos sólidos, a través del diseño de planes y estrategias que garanticen flujos eficientes y efectivos de residuos. Este artículo fundamenta el uso de logística inversa en la gestión de residuos sólidos, desde la identificación del tamaño de flujos de residuos, incluyendo varios tipos de materiales reciclables con los posibles efectos de la implementación de estas soluciones.

Ferri et al. [9], en el artículo *Reverse logistics network for municipal solid waste management: The inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement*, proponen una red logística inversa en la gestión de residuos sólidos municipales (RSM) como solución al manejo económico de estos residuos, considerando la inclusión de recicladores informales como requerimiento legal brasileño. Se evaluó la viabilidad de usar las instalaciones de

recuperación de materiales a partir de RSM como intermediarios entre los generadores de los residuos y las opciones de valorización y/o eliminación de estos, así también la participación de asociaciones de recicladores. Se elaboró un modelo matemático de la red, validándola mediante el análisis de escenarios del municipio de São Mateus. Esta red logística inversa fue modelada matemáticamente y validada a través de un análisis de seis escenarios en el municipio de São Mateus. Los escenarios fueron: 1) sin recogida selectiva (realidad actual del municipio), 2) escenario óptimo: exclusión de algunos barrios e inclusión de las asociaciones existentes en el conjunto de ubicaciones candidatas, 3) considerando el escenario 2 y la apertura de instalaciones de tratamiento de residuos generales y reciclables, 4) escenario social: considerando el escenario 2, apertura fija de planta de tratamiento en todas las asociaciones, 5) considerando el Escenario 2, apertura fija de una sola planta para residuos sólidos urbanos (RSU) en general en una ubicación predeterminada por el municipio y 6) escenario de proyección: considerando el escenario 2, con una proyección del aumento de la población durante 10 años. El modelo matemático permitió determinar el número de infraestructuras necesarias para la red, su situación, dimensiones y flujos de materiales entre las instalaciones. Los costos fijos de instalación y operación de las infraestructuras de tratamiento de residuos propuestas se nivelaron con la reducción de costos de transporte, permitiendo que los recicladores se inserten a la red de logística inversa. Las instalaciones de tratamiento no son puntos de transbordo, sino sirven para la clasificación y consolidación de carga a pequeña escala que reducen el costo de transporte y permiten la recolección puerta a puerta por parte de los recicladores. El resultado principal de este estudio es la reducción, en el largo plazo, del costo de transporte de los residuos sólidos desde los hogares a las instalaciones de tratamiento con la consecuente disminución de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), así como la inclusión de los recicladores. Este artículo aporta los resultados de una serie de escenarios para la implementación de una red logística inversa en un país con características similares al Perú.

Habibi et al. [10], en su trabajo *A multi-objective robust optimization model for site-selection and capacity allocation of municipal solid waste facilities: A case study in Tehran*, presentan un modelo de optimización robusto multiobjetivo para un sistema de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) conformado por la población generadora de residuos, estaciones de transferencia, vertederos, plantas de reciclaje, y vehículos de transporte de residuos, cubriendo cuestiones económicas, ambientales y sociales, de tal forma que se minimice el costo total, la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y la contaminación visual. La formulación matemática propuesta consta de tres funciones objetivo: 1) minimiza el

costo de establecer y operar instalaciones de manejo de RSU y el costo de transporte entre ellas, 2) minimiza las emisiones a producir por las instalaciones y diferentes vehículos de transporte y 3) minimiza la contaminación visual para cada núcleo de población. El modelo se validó con el uso de datos reales para la planeación a largo plazo del sistema de gestión de RSU de Teherán analizando cinco lugares para la construcción de nuevas instalaciones. Quedó demostrado que si no se toman en cuenta las incertidumbres en los parámetros no se podrían obtener soluciones más robustas. El modelo propuesto reduce las consecuencias de la variación en los parámetros inciertos y proporciona resultados más flexibles, en comparación con otros métodos como la programación estocástica. Los autores recomiendan que para estudios futuros se incluyan el enrutamiento de los vehículos de recolección y transporte de RSU para hacer un modelo más realista. Este trabajo aporta un modelo que parte de un análisis holístico de logística inversa, considerando estaciones de transferencia y plantas de reciclaje.

Silva-Rodríguez [11] en su artículo *Diseño de una red de logística inversa: caso de estudio Usochicamocha – Boyacá* propone el diseño y operación de una red logística inversa para el Distrito de riego Usochicamocha del Departamento de Boyacá- Colombia, cuya problemática presentada es el manejo y tratamiento impropio de recipientes y empaques vacíos de plaguicidas generados por la actividad agrícola. Planteó mediante programación lineal entera mixta, una red de logística inversa que incluyera las fases de recogida, acopio y eliminación de los residuos de plaguicidas en el mencionado distrito y así establecer las cantidades mínimas a recoger de cada tipo de residuo en cada finca, así como las cantidades de residuo a trasladar a cada una de las opciones de eliminación, considerando un espacio de un año dividido en 6 periodos de recogida, de 2 meses cada periodo. A la vez, valora la oportunidad de contar con nuevos centros de acopio. Los resultados demuestran que el sistema mejora en un 36% en relación al número de envases vacíos de sustancias químicas agrícolas en todas las fincas pertenecientes al distrito de riego estudiado.

Pouriani et al. [12], en su trabajo *A robust bi-level optimization modelling approach for municipal solid waste management; a real case study of Iran* proponen una red municipal de gestión de residuos sólidos con el objetivo de minimizar los diferentes costos. Las fuentes de residuos sólidos son principalmente viviendas e industrias. Solo se consideraron tres categorías principales de residuos sólidos reciclables: papel, plástico y metal. En esta red, los RSU se entregan a la estación de recolección más cercana. Luego se separan y transfieren a plantas de reciclaje, donde se realizan diversas operaciones sobre cada material para su uso como materias

primas. Esta red determina el flujo de cantidad de residuos y productos producidos así como las ubicaciones adecuadas para el establecimiento de las estaciones de recolección. El modelo se elaboró aplicando programación lineal de enteros mixtos de dos niveles, uno inferior que comprende los costos de ubicación y establecimiento de las estaciones de recogida de residuos sólidos y el superior que incluye la asignación de residuos a los distintos centros. Para hacer frente a la incertidumbre en el volumen de residuos sólidos recolectados, se enfocaron en la optimización robusta basada en escenarios. El modelo propuesto se evalúa utilizando un estudio de caso en Babol, provincia de Mazandaran, Irán. Los resultados indican que las estaciones de recolección se seleccionan en regiones que tienen menos distancia de sus regiones cubiertas, lo que conduce al flujo óptimo de los residuos y productos. El enfoque de optimización robusto propuesto garantiza una menor sensibilidad a las soluciones del modelo para los escenarios proporcionados. Este artículo aporta con la propuesta de una red logística para la gestión de residuos sólidos que incluye estaciones de recolección, fábricas y los clientes, especificando las cantidades de residuos recolectados, reciclados y eliminados, usando programación lineal.

## **1.2. BASE TEÓRICA CONCEPTUAL**

### **1.2.1. Logística Inversa**

En el contexto actual del cuidado del ambiente, las empresas, sus proveedores y distribuidores no pueden centrarse sólo en las estrategias que permitan el flujo de productos e información al cliente final. Mas bien se requiere de integrar el flujo inverso, en el cual se tenga en cuenta la recuperación de los productos que fueron utilizados y eliminados por estos clientes [7]. En los últimos tiempos, la logística inversa ha adquirido una atención mayor por muchas razones, como la extensión de nuevas leyes ambientales, el desarrollo de la responsabilidad social y los intereses económicos, la reducción de los recursos naturales y las reservas de materias primas, el incremento de costos de producción y los problemas causados por un vertedero de residuos industriales y bienes de consumo. [12]

Logística Inversa, llamada también Logística Reversa, comprende una serie de actividades logísticas de recolección, desmonte de bienes usados o sus partes, de materiales de distinta naturaleza con el fin de aprovechar su valor remanente, dándoles un uso después de su vida útil. Y según sea el caso, asegurar una correcta destrucción [13]. La logística inversa gestiona, de forma efectiva y rentable, el retorno de los productos a través de la cadena de suministro, la recuperación y reciclaje de materiales, inclusive de residuos peligrosos. También

incluye estrategias para el retorno de inventario en exceso, retorno de productos defectuosos, obsoletos y/o inventarios estacionales [14].

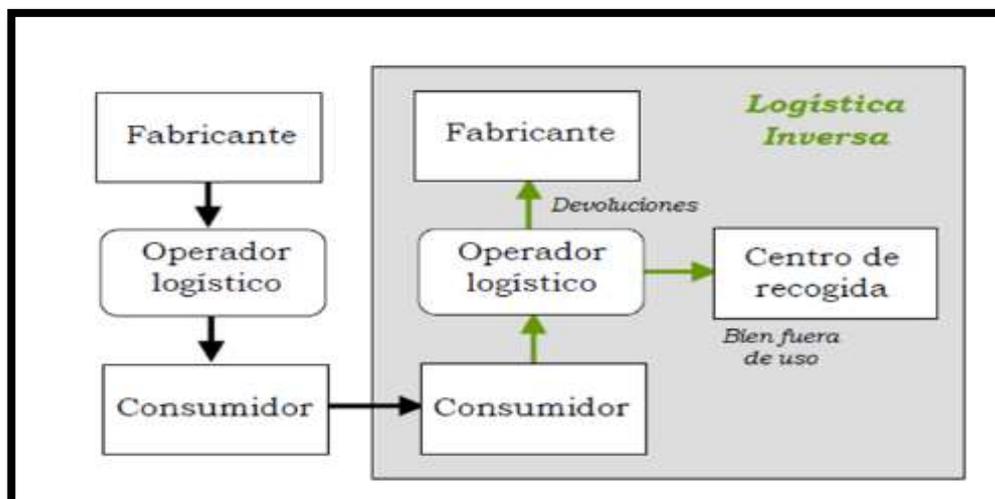
La figura 1 muestra aspectos esenciales que diferencian a la logística inversa de la directa.



**Figura 1. Comparación entre logística directa e inversa**

Fuente: Martín y Mora 2013:44

La logística inversa incluye el traslado de los residuos desde el consumidor o distribuidor hasta los centros de recogida, procediendo a su reutilización o reciclaje (figura 2). Busca la venta de residuo transformados en producto con valor agregado, obteniendo un mayor rendimiento de bienes que ya han sido eliminados por los consumidores. [15]



**Figura 2. Ciclo logístico del producto**

Fuente: López 2011:44

En otras palabras, logística inversa es el flujo de materiales, información y recursos económicos en sentido inverso a la logística tradicional, desde el consumidor final (fin de la vida útil del producto) hacia la empresa o proveedor. [7] Y es en este sentido que su gestión se vuelve más compleja por la variabilidad en la proyección de la demanda, calidad de los productos y su trazabilidad así como la estandarización de estos, además de la confiabilidad de las entregas [16].

Iglesias [17] considera los siguientes factores que impulsan a la logística inversa:

- Legales que impulsan el planteamiento de políticas ambientales en las organizaciones, que buscan reducir la cantidad de residuos eliminados, utilizando la jerarquía en la gestión de residuos: prevención, recuperación y en último lugar, la eliminación de residuos.

- Económicos, desde dos puntos de vista: de la demanda porque la recuperación y reingreso de materiales al proceso de producción, será aprovechada para el marketing que ayude a mejorar la imagen de la organización como responsable ambientalmente. Desde la oferta, debido a que los materiales recuperados podrían reemplazar materias primas vírgenes, disminuyendo costos de fabricación o mejorando los precios de venta.

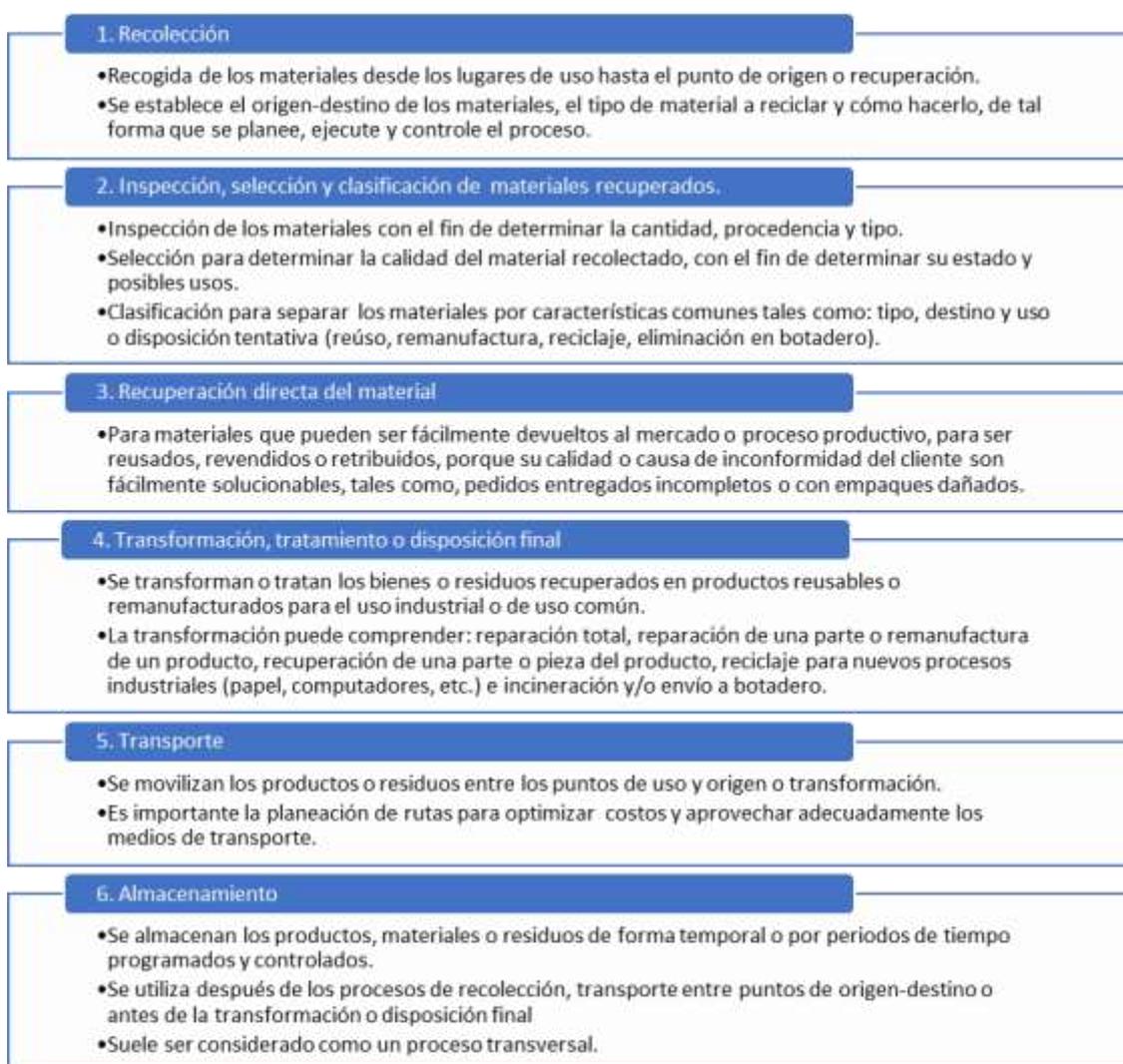
Rojas et al. [7] añade un tercer factor: la responsabilidad social, empresas que elaboran productos más seguros y amigables con el ambiente.

Antún [18] menciona los procesos de gestión que comprende la logística inversa:

- Devolución de productos rechazados por los distribuidores o por los usuarios finales, así como los productos sobrantes por fin de vida útil.
- Devolución para la reutilización de recipientes, empaques, etc.
- Recuperación de solventes, entre otros materiales.
- Reacondicionamiento de productos rechazados con el objetivo de colocarlos nuevamente en el mercado.
- Gestión de residuos que se recogen y envían a procesos de reciclaje por terceros.
- Gestión de residuos peligrosos, enviados a tratamiento para reducir su peligrosidad y su posterior eliminación.

- Gestión de materiales reciclados para la reducción en el uso de materias primas vírgenes, involucrando la innovación en el diseño de productos, aplicación de estrategias de suministro y desarrollo de proveedores.

Gómez [19] presenta un conjunto de procesos (figura 3) que componen a la logística inversa, cuya finalidad es que se cumplan con los objetivos, mediante el uso adecuado de recursos de las organizaciones. Los procesos recolección, inspección, clasificación, selección y transformación agregan valor a los materiales y otros, almacenamiento, el transporte y las tecnologías de la información y comunicación (TIC), son de apoyo, aunque claves para que los primeros se ejecuten de forma eficaz y eficiente.



**Figura 3. Procesos de Logística Inversa**

Fuente: Gómez 2010: 69

### 1.2.2. Sistemas de logística inversa

La logística inversa representa una solución organizativa para la gestión de RSM e incentiva la segregación de residuos por parte de la población y de las instituciones. Crea flujos de residuos caracterizados tanto por la eficiencia ecológica como por la eficacia económica. Sus tareas incluyen la formación de sistemas de circuito cerrado a través de la integración y coordinación de actividades e información sobre materiales en un sistema económico. [8]

Martín y Mora [16] plantean cinco etapas para desarrollar un sistema de logística inversa:

a) Evaluación y diagnóstico que determina la situación ambiental actual de la organización, para lo cual se puede usar como herramienta la evaluación del impacto ambiental.

b) Clasificación de residuos basados en sus características como estado, peligrosidad, almacenamiento, entre otros que ayuden a establecer las estrategias de manejo y tratamiento de estos residuos.

c) Transporte y almacenamiento, considerada la etapa que mayor importancia económica por comprender entre 60 y 80% de los costos totales del sistema, entre los que tenemos la frecuencia de recolección, horarios, equipos, maquinarias y personal.

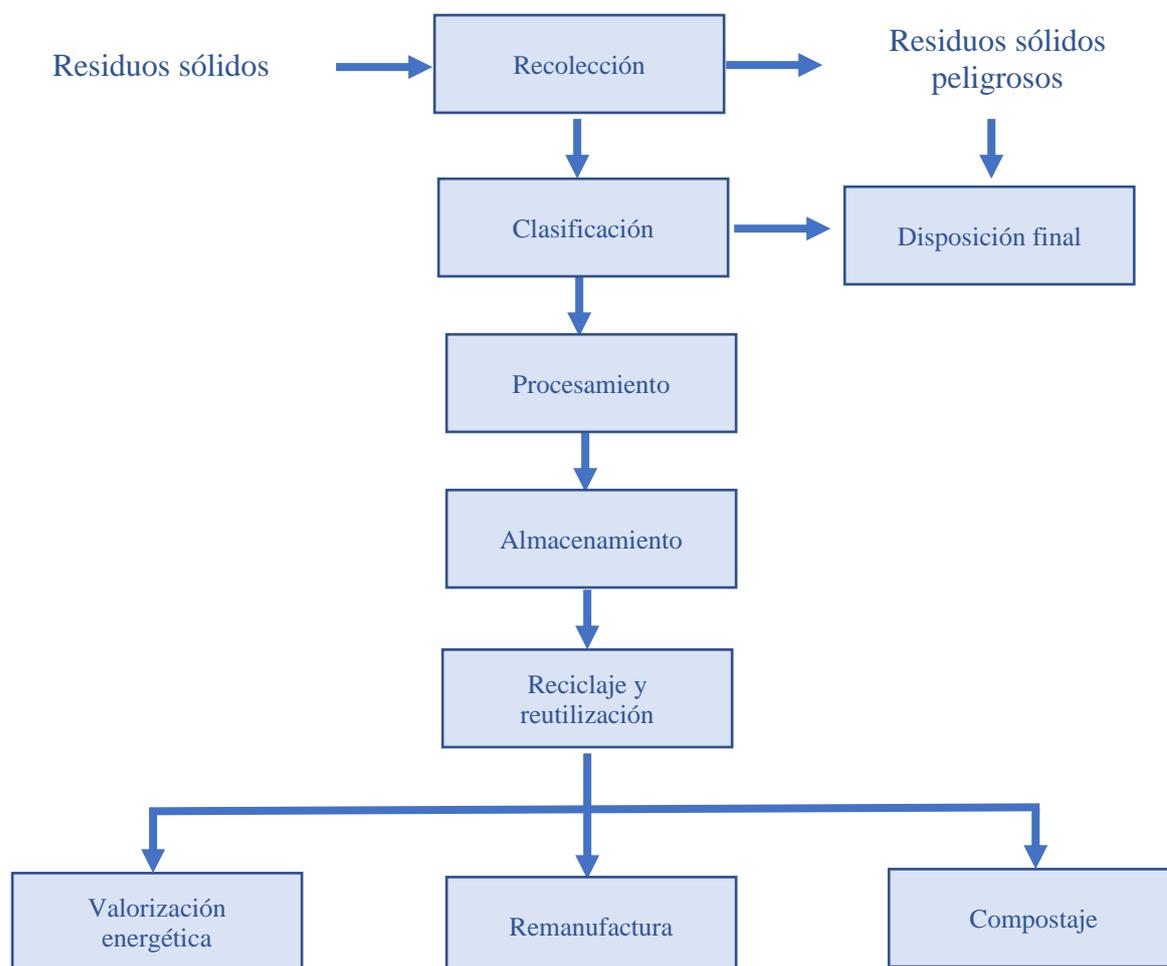
d) Distribución a los destinos como retorno mediante el vendedor, venderlo como nuevo o como final de existencias, como donación o para reprocesamiento.

e) Medición y control para valorar el cumplimiento de objetivos y la eficiencia del proceso.

Kinobe et al [20] mencionan que la logística inversa difiere de la gestión de residuos dado que se centra en agregar valor a un residuo a recuperar y su ingreso a una nueva cadena de suministro, en tanto que la gestión de residuos implica la recolección y el tratamiento de los residuos sin su aprovechamiento, principalmente. Un sistema de logística inversa involucra una red de actividades como la reutilización, reciclaje y eliminación de productos, sus componentes y materiales asociados. La logística inversa también genera empleo e ingresos para las personas involucradas en las actividades. La reutilización y el reprocesamiento de productos requieren separación y clasificación para producir nuevos productos que a veces son de menor valor.

En la figura 4, se muestra un sistema de logística inversa integrado con la gestión de residuos, se ocupa del retorno de productos no deseados a una ubicación central para su

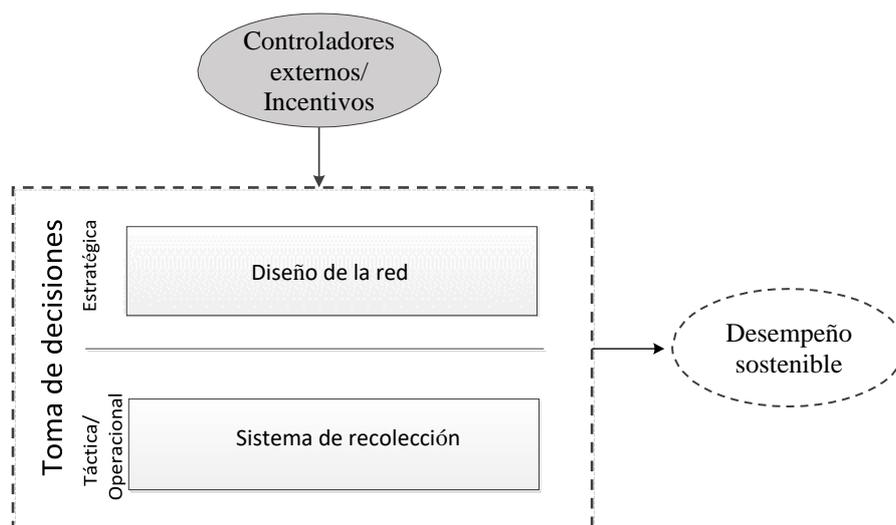
procesamiento, almacenamiento, luego su reciclado y reutilización en diferentes flujos en nuevos mercados.



**Figura 4. Integración de la gestión de residuos y la logística inversa**

Fuente: Kinobe 2012: 1110

Bing, X. et al [21] afirma que para atender el creciente flujo de residuos y la necesidad de reutilizar los recursos no renovables se requiere de la gestión logística de los residuos sólidos urbanos (RSU), la cual incluye decisiones estratégicas y tácticas en el diseño de la red logística y el diseño de la recolección (figura 5). Menciona que para abordar todos estos aspectos se apoya cada vez más en la investigación de operaciones. Para satisfacer la demanda futura de un desarrollo sostenible, el resultado de la toma de decisiones sobre el manejo de residuos sólidos municipales debe tener un desempeño sostenible. La complejidad de las decisiones de reciclaje de residuos está determinada por factores externos, como la legislación, el aumento de los precios del petróleo, los costos dinámicos y los diferentes intereses de los hogares, las empresas de recolección y los municipios.



**Figura 5. Marco de la logística inversa para el reciclaje de residuos domésticos**

Fuente: Bing 2015: 589

Una de las propuestas de Bing X. et al [21] para un sistema de eficiente y sostenible de reciclaje de residuos es adaptar la solución a cada tipo de residuo. Comprender las características de los residuos, como la diferencia de densidad (relación peso-volumen), la diferencia de cantidad y las diferencias de procedimiento de tratamiento puede ayudar a adaptar el diseño de la red para cada tipo de residuo para mejorar aún más la eficiencia del reciclaje. Dado que algunos residuos comparten las instalaciones en las etapas iniciales de la cadena de reciclaje, es interesante investigar la red combinada para varios tipos de residuos.

### 1.2.3. Rentabilidad

Uno de los aspectos de mayor importancia para medir en desempeño de una empresa es el financiero. Entre estas medidas cuantitativas tenemos: utilidad, liquidez, rentabilidad entre otras. La rentabilidad es una medida relativa de la utilidad, obtenida de la comparación de la utilidad neta de las compras con la inversión realizada y con los fondos contribuidos por sus propietarios. La utilidad neta es el efecto sobre de patrimonio, incrementado los activos o disminuyendo los pasivos [22]. Una propuesta será rentable si el valor de los rendimientos que obtiene es mayor que los recursos utilizados.

Para la inversión pública, un proyecto propuesto por una municipalidad no es evaluada por rentabilidad económica sino mediante rentabilidad social, es decir que no sólo se toma decisiones basados en la rentabilidad financiera sino se considera la posible implicación de esta decisión sobre el agregado económico. La rentabilidad social es lograr más beneficios

que pérdidas a la sociedad en general, medido por la generación de trabajo y beneficios sociales. [23]

Un proyecto de inversión pública, por ejemplo el asociado al manejo de residuos municipales, será rentable socialmente en la medida que el bienestar social sea mayor al que se hubiera alcanzado sin la ejecución del proyecto. Los beneficios para un proyecto en el que se valoricen los residuos se pueden medir por el aumento del consumo de bienes y servicios ofrecidos y por la liberación de recursos que el proyecto genera. Por ejemplo, se puede valorizar que se tenga una menor eliminación de residuos en el relleno sanitario, dado que se disminuyen los costos por tonelada eliminada. Otros beneficios obtenidos son la venta de residuos valorizados y/o el ahorro de costos en procesos internos, entiéndase que los residuos se pueden ser comercializados a través de la asociación de recicladores y el segundo caso para cuando no se pueda comercializar, se puedan idear usos alternativos según su costo oportunidad. También se considera el ahorro de energía, si la valorización de residuos es energética como la generación de gas y electricidad. Otros aspectos son la disminución de emisiones de GEI, disminución en la tasa de morbilidad, en el incremento de información y conciencia ambiental y la disminución en la explotación de recursos naturales. En cuanto a los costos tenemos a los de inversión así como los costos de operación y mantenimiento [24]

Asimismo, se menciona en [24] que los principales indicadores de rentabilidad son:

a) Valor actual neto social (VANS), si es positivo es conveniente su ejecución. Si es negativo se rechaza o reformula. Si el VANS es cero, es indiferente su ejecución o no.

b) Tasa Interna de retorno social (TIRS), si es mayor que la tasa social de descuento es conveniente la ejecución del proyecto, si es menor no se debe ejecutar.

Para la evaluación de proyectos sociales, se indica en [25] que, además del análisis costo- beneficio, se puede aplicar el análisis costo-efectividad, tomando en cuenta los impactos del proyecto o también, el análisis costo- eficiencia, si se toman en cuenta los resultados. Para la determinación de a efectividad, en [26] se señala que para proyectos de residuos sólidos, el indicador es “*toneladas de residuos sólidos efectivamente tratados o dispuestos*”. Así, esta metodología apoya en la elección de la mejor opción a partir del menor costo posible.

La viabilidad económica de los sistemas de logística inversa se obtiene cuando los residuos tienen un valor comercial después consumo [27].

#### **1.2.4. Planta de Reciclaje**

Se denomina reciclaje a la actividad que implica utilizar los materiales componentes de un residuo como materias primas en nuevos procesos productivos. En un proceso de reciclaje, el residuo se clasifica, se desarma (para residuos constituidos por varias piezas), se pica o muele, se compactan, se envían a plantas que los aprovecharán a como materias primas los materiales obtenidos. Una gran cantidad de residuos pueden ser reciclados, dependiendo del material del cual están constituidos: plástico, cartón, papel, metal, vidrio, etc. Están involucrados en el reciclaje los centros de recogida, clasificadores de materiales y las plantas de proceso de reciclado.

Las plantas de reciclaje son instalaciones donde se aplican operaciones como separación, clasificación, molienda, compactación, limpieza y empaque de materiales recuperados a partir de residuos sólidos acopiados, tanto los domiciliarios, comerciales y según sea el caso, industriales. Existen plantas de reciclaje que trabajan con una mezcla de residuos aprovechables, encargándose de su segregación y tratamiento por fracciones. Otras plantas, sólo trabajan con un tipo de residuo, tales como plásticos, papel, etc. Incluso existen complejos de tratamiento de residuos con múltiples naves encargadas de cada tipo de residuo.

En el Perú, la planta de reciclaje de RSU más grande, con una capacidad para 70 t de residuos aprovechables, se encuentra en el distrito de Surco, Lima. Actualmente, trabaja a una capacidad a menos de un tercio de su capacidad. Esta planta consta de un área de recepción del residuo, otra para la segregación del material y una para la reducción de volumen y empaquetado para su posterior envío a los clientes [28] En Arequipa se encuentra la segunda planta municipal con una capacidad de 65 t, es la primera en tratar plástico, produciendo bolsas para la recolección de basura, reductores de velocidad y ojos de gato [29].

Una planta de reciclaje consta de estas áreas básicas en sus instalaciones: de recepción de residuos, de selección manual y/o mecánicos, de molienda o prensado y embalaje, de almacenamiento y el área administrativa [30].

#### **1.2.5. Residuos sólidos**

La ley define residuo sólido como:

“... cualquier objeto material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de

desprenderse, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y en último caso, su disposición final [3]”

Los residuos sólidos pueden ser clasificados de acuerdo a su origen [31], es decir del sector en que fueron generados: domiciliarios, comerciales, industriales, agropecuarios, mineros, hospitalarios, de construcción, etc. Así como por su gestión, se clasifican como residuos de ámbito municipal y no municipal. La ley [3] los clasifica de acuerdo al manejo que reciben en peligrosos y no peligrosos, también hace referencia a los residuos no aprovechables como “aquellos que no tienen valor comercial, que requieren de tratamiento y disposición final, generando costos de disposición”. Esta ley y su reglamento no tienen declarada una definición para “residuos aprovechables” por lo que debemos entender que serán los que no cumplan las siguientes características que pertenecen a los residuos no aprovechables [3]: “es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo”

El Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos [32] hace referencia al “aprovechamiento de residuos sólidos” definiéndola como “volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte de este que constituye residuo sólido. Se reconoce como técnica de aprovechamiento el reciclaje, la recuperación o la reutilización”.

La Norma Técnica Peruana NTP 900.058 [33] establece el código colores para almacenar los residuos del ámbito municipal, en la tabla 1 se detallan.

**Tabla 1. Código de colores para los residuos del ámbito municipal**

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Color</b>	<b>Ejemplo</b>
Aprovechable	Verde	Papel, cartón, vidrio, plásticos, textiles, madera, cuero, empaques, metales
No aprovechables	Negro	Papel encerado o metalizado, cerámicos, colillas de cigarro, residuos sanitarios
Orgánicos	Marrón	Restos de alimentos, restos de podas, hojarasca
Peligrosos	Rojo	Pilas, lámparas y luminarias, medicinas vencidas, envases de plaguicidas, etc.

Fuente: INACAL, 2019:5

Al ser tema de esta investigación una planta de reciclaje municipal, el residuo en cuestión es el denominado “residuo sólido municipal”, constituidos por residuos domiciliarios, residuos comerciales, residuos provenientes del barrido y limpieza de calles, plazas, parques, playas y los residuos generados en otras actividades urbanas no domiciliarias que sean similares a los generados en los servicios de limpieza pública en todo el ámbito de su jurisdicción municipal [3].

El Ministerio del Ambiente [34] menciona que más del 70 % de los residuos generados en el país pueden aprovecharse en nuevos procesos productivos. El 54% son residuos orgánicos, definidos según [32] como “los residuos biodegradables o sujetos a descomposición”, es decir susceptibles a ser compostados obteniendo un insumo que permite mejorar la calidad del suelo. El 22 % lo conforman los residuos aprovechables entre los que se encuentran el papel, cartón, vidrio, varios tipos de plásticos, hojalata y otros metales. Los residuos son acopiados por recicladores formalizados y con el apoyo camiones municipales para su traslado hacia instalaciones encargadas de darles valor agregado.

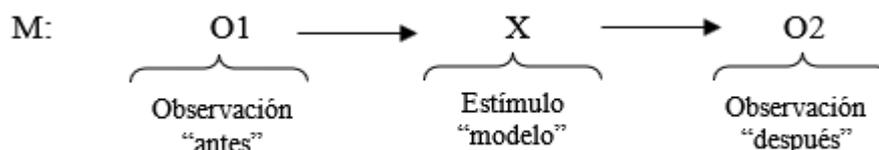
## CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación es cuantitativo dado que las variables logística inversa y rentabilidad son susceptibles de medición y cálculo, se realizaron pronósticos, se sistematizaron los datos, se generalizó en resultados y conclusiones [35].

El tipo de investigación, según su finalidad, es aplicada. La investigación aborda un problema concreto de la baja rentabilidad de la planta de reciclaje de residuos sólidos municipales, en circunstancias y características concretas [36].

El diseño es preexperimental [37], se aplicó el diseño de contrastación Pre test – Post test para comprobar la hipótesis. En el Pre test se midió la variable dependiente rentabilidad “antes” de aplicar el estímulo, luego en el Post test se midió la variable dependiente “después” de aplicar el estímulo, “modelo de logística inversa”. El esquema es:



Donde:

M: muestra

O1: Observación pre test, la rentabilidad de la planta de reciclaje sin la aplicación de la logística inversa

X: Es el Estímulo, modelo de logística inversa aplicado a la Planta de reciclaje.

O2: Observación post test, la rentabilidad de la planta de reciclaje con la aplicación de la logística inversa

La metodología consistió en analizar la situación actual de la planta de reciclaje de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe, desde el acopio de los residuos hasta la venta de los residuos aprovechables, determinando rentabilidad. Luego se elaboró el modelo de logística inversa y finalmente, se determinó la rentabilidad y el costo-efectividad.

## **2.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO**

Para esta investigación, la población considerada es la planta de reciclaje de la Municipalidad de la Provincia de Ferreñafe. La muestra también está conformada por la planta de reciclaje de la Municipalidad de la Provincia de Ferreñafe. Por tal razón, la denominaremos como grupo de estudio [38].

El muestro se realizó en la planta de reciclaje en las diferentes operaciones que se realizan desde el acopio hasta el almacenamiento, en base a la cantidad de residuos sólidos manejados y los costos que en se incurre.

## **2.3. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los métodos aplicados fueron [38]:

- Observación: observar las características del manejo de residuos en la planta de reciclaje, de las actividades de acopio y tratamiento de los residuos sólidos.
- Estadístico: con el uso de herramientas estadísticas, estudiar el comportamiento del manejo de residuos y la rentabilidad.
- Descriptivo: especificar las características del manejo de residuos, interpretar su relación con la logística inversa.

Asimismo, se aplicaron las siguientes técnicas:

- Recolección documental de datos y documentos que ayuden a describir y medir las variables.
- Observación que permitió comprender y registrar los detalles de cómo se realizan las actividades en la planta de reciclaje.
- Entrevistas a las personas involucradas en la gestión y operación de la planta de reciclaje.

Los instrumentos utilizados fueron:

- Fichas de registro
- Guía de entrevista (anexo 1)

## **2.4. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS**

En el procesamiento de los datos se usó el software Excel.

Asimismo se utilizó el software Tora con el cual se realizó el modelo de logística inversa y simulación del modelo.



**Tabla 2. Datos de población y superficie territorial de la Provincia de Ferreñafe**

Lugar	Población Total Censo 2017 (hab)	Población urbana (hab)	Población rural (hab)	Superficie (km <sup>2</sup> )*	Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> )	Número de viviendas Área urbana	Número de viviendas Área rural
Provincia de Ferreñafe	97 415	55 448	41 967	1 578, 60	61,7	16 185	14 345
<u>Distritos</u>							
Ferreñafe	34 229	33 526	703	62,18	550,5	9 417	263
Cañaris	11 366	-	11 366	284,88	39,9	-	3 195
Incahuasi	13 858	-	13 858	443,91	31,2	-	4 973
Mesones Muro	3 808	-	3 808	200,57	19,0	-	1 337
Pítipo	19 651	8 189	11 462	558,18	35,2	2 955	4 321
Pueblo Nuevo	14 503	13 733	770	28,88	502,2	3 813	256

Fuente: INEI, 2018: 224-229, 5753-5754 \* Municipalidad Provincial de Ferreñafe: 2012:43

La Municipalidad Provincial se encuentra asentada en la ciudad de Ferreñafe. Se ubica en la calle Nicanor Carmona 436, frente al parque principal. Tiene como misión [42]: “La Municipalidad Provincial de Ferreñafe, como órgano del Gobierno Local, representa a toda la población, que con su participación promueve la adecuada prestación de los servicios públicos, el desarrollo integral sostenible y económico de su jurisdicción”

Además, el presente trabajo responde a uno de sus objetivos [42]: “Lograr que los Servicios Públicos Locales, brindados por la Municipalidad Provincial de Ferreñafe, sean de estándares altos en calidad, optimizando sus recursos logísticos, financieros y humanos para beneficio de los usuarios, contribuyentes y vecinos en general”.

### 3.1.2. Situación actual del manejo de residuos sólidos en la ciudad de Ferreñafe

La Municipalidad Provincial de Ferreñafe como parte de sus funciones específicas, se encarga de la administración del servicio de recogida de residuos domiciliarios y comerciales, así como de la limpieza de calles, parques, mercados y similares.

### 3.1.2.1. Generación de residuos sólidos

De acuerdo al Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos del distrito de Ferreñafe del año 2019 [43], la GPC de residuos sólidos domiciliarios de 0,61 kg/hab.día. Este informe también presenta la composición de los residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios. En la tabla 3, se presenta la generación de los diversos tipos de residuos sólidos domiciliarios (RSD) en base a [43]. Se resalta la cantidad de residuos aprovechables inorgánicos, 2151 t/año para el 2019 y 2154 para el 2020.

**Tabla 3. Generación de residuos sólidos domiciliarios por tipo para los años 2019 y 2020**

Componente	2019 t/año	2020 t/año
1. Residuos Aprovechables	6919	6925
1.1. Residuos Orgánicos	4767	4771
<b>1.2. Residuos Inorgánicos</b>	<b>2152</b>	<b>2154</b>
1.2.1. Papel	806	806
Blanco	254	255
Periódico	477	478
Mixto(Página de cuadernos, revistas, etc.)	74	74
1.2.2. Cartón	330	330
Blanco(Liso y cartulina)	127	127
Marrón(Corrugado)	136	136
Mixto(Tapas de cuaderno, revistas, similares)	67	67
1.2.3. Vidrio	216	216
Transparente	203	203
Otros colores (Marrón, ámbar, verde, azul, etc.)	9	9
Otros(Vidrios de ventana)	4	4
1.2.4. Plástico	632	633
PET	230	231
PEAD	241	241
PEBD	132	132
PP	15	15
PS	7	7
PVC	7	7
1.2.5. Tetra brik (Envases multicapa)	0	0
1.2.6. Metales	168	168
Latas-Hojalata	118	118
Fierro	48	48
Otros metales	2	2
2. Residuos No Aprovechables	563	564
Total	7480	7487

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4 presenta la generación de los diversos tipos de residuos sólidos no domiciliarios en base a [43]. Se resalta la cantidad de los residuos aprovechables inorgánicos.

**Tabla 4. Generación de residuos sólidos no domiciliarios por tipo para los años 2019 y 2020**

Componente	2019 t/año	2020 t/año
1. Residuos Aprovechables	2401	2403
1.1. Residuos Orgánicos	2066	2068
<b>1.2. Residuos Inorgánicos</b>	<b>335</b>	<b>335</b>
1.2.1. Papel	85	85
Blanco	20	20
Periódico	18	18
Mixto(Página de cuadernos, revistas, etc.)	48	48
1.2.2. Cartón	86	86
Blanco(Liso y cartulina)	0	0
Marrón(Corrugado)	79	79
Mixto(Tapas de cuaderno, revistas, similares)	7	7
1.2.3. Vidrio	37	37
Transparente	19	19
Otros colores (Marrón, ámbar, verde, azul, etc.)	14	14
Otros(Vidrios de ventana)	3	3
1.2.4. Plástico	101	101
PET	46	46
PEAD	20	20
PEBD	8	8
PP	17	17
PS	4	4
PVC	7	7
1.2.5. Metales	26	26
Latas-Hojalata	25	25
Aluminio	1	1
2. Residuos No Aprovechables	805	806
<b>TOTAL</b>	<b>3206</b>	<b>3209</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5, se ha calculado la generación de residuos sólidos municipales para los 10 años siguientes. Para el cálculo, se aplicó la metodología indicada en [44] . Para los RSD se consideraron como datos iniciales los obtenidos en el Censo 2017, tanto la población urbana como la tasa de crecimiento poblacional de 0,1 % para la provincia de Ferreñafe [41] Los no domiciliarios constituyen el 30 % de los RSD [44].

**Tabla 5. Proyección de la generación de residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe para los siguientes 10 años**

<b>Año</b>	<b>Población urbana</b>	<b>GCP (kg/hab.día)</b>	<b>Generación RSD (t/año)</b>	<b>Generación RS no domiciliarios (t/año)</b>	<b>Generación RSM (t/año)</b>
2021	33 660	0,62	7494	3212	10706
2022	33 694	0,63	7502	3215	10717
2023	33 728	0,63	7509	3218	10728
2024	33 761	0,64	7517	3222	10739
2025	33 795	0,65	7524	3225	10749
2026	33 829	0,65	7532	3228	10760
2027	33 863	0,66	7540	3231	10771
2028	33 897	0,67	7547	3234	10782
2029	33 931	0,67	7555	3238	10792
2030	33 964	0,68	7562	3241	10803

Fuente: Elaboración propia

### **3.1.2.2. Manejo de residuos sólidos municipales**

Se realiza mediante el sistema tradicional de recojo de residuos y eliminación. Además, a partir del año 2011 se trabaja con programas de segregación de residuos en la fuente y la recogida selectiva de los mismos y su comercialización. En la presente investigación se tomaron los residuos inorgánicos aprovechables.

#### **a) Sistema tradicional**

El sistema tradicional tiene una cobertura de la recolección de residuos sólidos del 97 % [45], utilizando para ello con cuatro (4) camiones compactadores (figura 7) y 1 volquete.

El recojo de residuos sólidos es diario, de lunes a domingo incluyendo feriados, para lo cual se cuenta con 16 trabajadores entre choferes, ayudantes de camión y 23 barrenderos, no tienen entrenamiento en su totalidad y así cumplir con los requerimientos del sistema de gestión de residuos sólidos, debido a que el 85 % del personal es contratado [46]. En la tabla 6, se muestran los vehículos usados, la frecuencia, zonas y horarios, datos entregados por el jefe de limpieza.



**Figura 7. Camión compactador de residuos sólidos**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6. Datos de la recolección de RSM en el distrito de Ferreñafe**

VEHÍCULO	FRECUENCIA	PERSONAL	ZONAS	HORARIO
COMPACTADOR			CERCADO	12:00 am – 6:00 am
COMPACTADOR	Lunes a Domingo, incluyendo feriados	1 chofer y dos ayudantes	NORTE	4:00 am – 10:00 am
COMPACTADOR			SUR	4:00 am – 10:00 am
COMPACTADOR			MERCADO	2:00 pm – 8:00 pm
VOLQUETE		1 chofer y tres ayudantes	CERCADO - UU. VV.	4:00 am – 11:00 am

Fuente: Municipalidad Provincial de Ferreñafe

Los residuos se recogen sin ningún tipo de selección, son transportados en las mismas unidades de recojo al botadero a cielo abierto a 11 km de Ferreñafe eliminándolos en un terreno de 20 Ha, perteneciente a la comunidad campesina Santa Lucía. En la actualidad se ha convertido en un botadero incontrolado, en donde los residuos son quemados, liberando gases tóxicos y material particulado contaminado así el ambiente (ver figura 8) asimismo existen recicladores informales que laboran en condiciones sanitarias lamentables.



**Figura 8. Vista del botadero ubicado a 11 km de Ferreñafe**

Fuente: Municipalidad de Ferreñafe, 2013

Por otro lado, se pueden observar puntos críticos en la ciudad, en los que se estima que 2 t/día de residuo sólido se arrojan en ellos [39]. Para minimizar este problema se han colocado contenedores de aproximadamente 1,5 m<sup>3</sup> en algunos de los puntos identificados.

El costo promedio estimado de manejo de residuos sólidos (barrido, recolección y transporte) es de 77 500 soles mensuales, es decir el costo de tonelada de residuo recogida y transportada hasta el botadero es de 141,01 soles [46]. El nivel de recaudación por el servicio que la municipalidad suministra mediante administración directa es bajo, pues sólo cubre 22 % del gasto anual [46]. La morosidad en el pago del servicio se calcula en 76% [45]. La figura 9 muestra el flujo del manejo de residuos municipales, del punto de generación hasta su eliminación en el botadero.



**Figura 9. Flujo de residuos sólidos municipales en el sistema tradicional**

Fuente: Elaboración propia

### **Emisiones de GEI**

La eliminación de basura en el botadero trae consigo una serie de impactos ambientales, entre ellos se tiene la emisión de gases de efecto invernadero medido como metano y como CO<sub>2</sub> equivalentes. Para el cálculo de las emisiones se aplicó la metodología indicada en [47]. En la tabla 7 se aprecia el cálculo de las emisiones de GEI basado en la proyección de residuo generado y eliminado en el botadero.

**Tabla 7. Proyección de emisiones de GEI por eliminación de residuos en el botadero**

Año	M CH <sub>4</sub> (t CH <sub>4</sub> /año)	M CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> /año)	Q CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /año)	Q CO <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /año)
2020	203	405	310	225
2021	210	420	321	233
2022	217	434	331	241
2023	224	447	342	248
2024	230	460	351	256
2025	236	472	361	262
2026	242	484	370	269
2027	248	496	379	276
2028	254	507	387	282
2029	259	518	396	288
2030	264	528	404	293

Fuente: Elaboración propia

### **Otros impactos**

El agua es impactada negativamente por los residuos eliminados en las acequias, arrojados de residuos peligrosos debido a desconocimiento y por falta de equipos apropiados para su recolección .

El aire es impactado además de la generación de GEI, por la quema de residuos que no son acopiados o los que se eliminan en el botadero. De igual forma, queda impactado el suelo en donde se realizó la incineración descontrolada, así como los recursos agrícolas y forestales.

La salud de la población se ve afectada por el manejo indebido de residuos y el uso de agua contaminada con residuos, así como la inhalación de gases producto de la combustión de residuos.

Asimismo, los recursos turísticos resultan afectados por el arrojado de basura cerca a ellos, tal es el caso de puntos críticos de acumulación de residuos cerca del museo Sicán.

### **b) Programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos**

El Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Domiciliarios inició sus operaciones en el año 2012 con el objetivo de minimizar el volumen de residuos enviados al botadero. Se sensibilizó y capacitó a los vecinos correspondientes de 576 viviendas del cercado de Ferreñafe, para separar los residuos sólidos aprovechables que generan en sus viviendas. Este programa funciona actualmente sólo con las

viviendas empadronadas del casco urbana del distrito, cuyos propietarios están de acuerdo con participar entregando sus residuos seleccionados.

Los residuos son recogidos de cada vivienda por dos o tres operarios con el uso de una motofurgoneta y un chofer, trabajador municipal (fig. 10). El operario toca la puerta de la vivienda, el poblador entrega el saco blanco con los residuos, se vacía en el vehículo y se les devuelve el saco (fig. 11). El recojo de los residuos se realiza en horarios y días establecidos de acuerdo a lo que se indica en la tabla 8.



**Figura 10. Motofurgoneta usada en el acopio de residuos sólidos**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8. Rutas y horarios de recolección de residuos sólidos aprovechables**

<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Lugar de recolección</b>
Lunes	8:00 a.m. a 12 p.m.	Calle San Martín, calle Tres Marías, Av. Nicanor Camona y sector FONAVI
Martes	8:00 a.m. a 12 p.m.	Calle Bolívar, calle Sucre, calle Arequipa, calle Túpac Amaru y unidad vecinal Santa Lucía
Miércoles	8:00 a.m. a 12 p.m.	Urbanización Algodonal, calle Santa Rosa, calle 13 de diciembre.
Jueves	8:00 a.m. a 12 p.m.	Av. B. Leguía, calle Ilo, calle Juana Castro, calle F. Gonzales Burga
Viernes	8:00 a.m. a 12 p.m.	Calle Santa Clara, calle Libertad, calle Grau, calle Unión

Fuente: Municipalidad de Ferreñafe, 2019:9



**Figura 11. Personal acopiando los residuos sólidos de las viviendas que participan del programa de segregación de residuos sólidos de la Municipalidad de Ferreñafe**

Fuente: Elaboración propia

Los residuos aprovechables al término de la recolección son transportados a la Planta de Segregación de Residuos Sólidos Reciclaje (fig. 12) ubicada en la Av. Villa Mercedes cuadra 1. Esta planta cuenta con un espacio para la clasificación y segregación de los residuos aprovechables: papel, cartón, plástico PET, plástico duro, Tetrapak, latas y metal. No cuenta con equipos de compactación ni pesaje. Los residuos que no cumplen con estas características son eliminados haciendo uso del sistema tradicional.

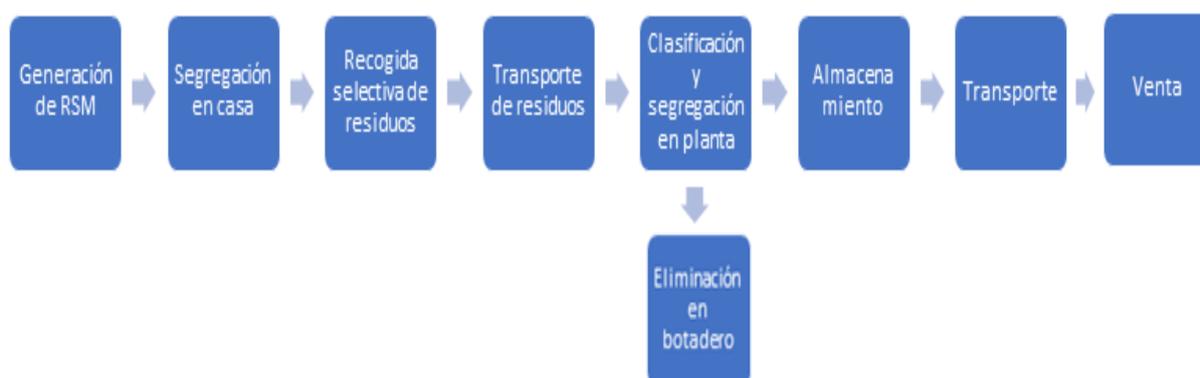


**Figura 12. Vista frontal de la Planta de Segregación de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe**

Fuente: Elaboración propia

Los residuos se empaquetan en sacos y se almacenan aproximadamente por un mes, tiempo para acumular suficiente material para su venta. Para esta actividad, los residuos son transportados por un camión, propiedad de la municipalidad, desde la planta a la empresa INBC SRL (ubicada en la carretera Chiclayo – Lambayeque) La comercialización se realiza entre la asociación de recicladores y esta empresa privada. Esta empresa es intermediaria con las empresas que compran residuos por tipo.

La figura 13 esquematiza el flujo de los residuos sólidos municipales a través del programa de segregación en la fuente y recolección selectiva, se puede observar que sale una línea a botadero, constituida por el material de descarte separado en la clasificación en la planta de reciclaje.



**Figura 13. Flujo de residuos sólidos municipales en el programa de segregación en la fuente recolección selectiva de residuos sólidos**

Fuente: Elaboración propia

La tabla 9 sintetiza el material que se ha recolectado, segregado y vendido mediante este programa, desde el año 2013 al 2019, no se tienen valores de los años 2017 y 2018 debido a que no se tienen por cambio de administración . Cabe acotar que además se tiene registrado un material de descarte que se elimina a través del sistema tradicional. Se puede observar que la clasificación del material se realiza considerando los siguientes tipos: botellas PET, latas, cartón, papel color, papel blanco, envases de aceite, envases de yogurt y lejía, plástico duro y tapas de polipropileno.

**Tabla 9. Residuos acopiado, seleccionado y vendido del 2013 al 2019, en toneladas al año**

Año	PET	Latas	Cartón	Papel		Envase de aceite	Envases de yogurt y lejía	Plástico duro	Tapas de polipropileno	Total
				blanco	Papel color					
2013	1,61	2,24	4,74	1,55	1,48	0,50	0,58	1,09	0,16	13,94
2014	2,42	2,64	4,82	1,76	1,92	1,04	0,89	1,21	0,53	17,22
2015	1,72	0,57	1,85	4,26	2,02	0,69	1,16	0,52	1,54	14,28
2016	1,48	1,47	2,20	1,40	2,12	0,27	0,37	0,94	0,13	10,38
2019	1,75	1,74	5,44	2,20	2,61	0,41	-	1,10	-	15,24

Fuente: Municipalidad Provincial de Ferreñafe

En la tabla 10, se muestra el porcentaje de aprovechamiento del residuo con respecto del residuo aprovechable generado considerando como valor promedio 18,2 % de residuo inorgánico aprovechable determinado de los estudios de caracterización de residuos anteriores [6], para el año 2019 el porcentaje es 19,61 % [43]. Como se observa, no sobrepasa el 1 % del material recuperado.

**Tabla 10. Porcentaje de residuo inorgánico aprovechable recuperado**

Año	RSM generado (t/año)	RSM aprovechable (t/año)	RSM acopiado y vendido (t/año)	% aprovechamiento
2013	10 621	1933	13,94	0,72
2014	10 632	1935	17,22	0,89
2015	10 642	1937	14,28	0,74
2016	10 653	1939	10,38	0,54
2019	10 685	2095	15,24	0,73

Fuente: Elaboración propia

### **3.1.3. Planta de reciclaje**

La Planta de reciclaje, llamada actualmente de segregación de residuos sólidos se ubica en Av. Villa Mercedes cuadra 1 s/n, perteneciente a la Unidad Vecinal Manuel Gonzáles Prada, frente al cementerio de la ciudad de Ferreñafe. Está bajo administración de la Gerencia de Promoción Ambiental y Servicios Públicos municipal, siendo operada por una asociación de recicladores.

Esta planta fue creada en el año 2003 con el nombre de Planta de Reciclaje, desde entonces se ha desactivado e activado durante varios periodos de gobierno de los alcaldes de turno. A partir del año 2012, viene trabajando en forma continua como parte del Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Domiciliarios del Cercado de Ferreñafe.

Cuenta con un área de más de 250 m<sup>2</sup> (figura 14) el local es de propiedad de la municipalidad. En el inicio de sus operaciones contaba con equipos tal como una prensa para compactar plásticos y cartones, una faja de selección con sus respectivos recipientes y una balanza electrónica.

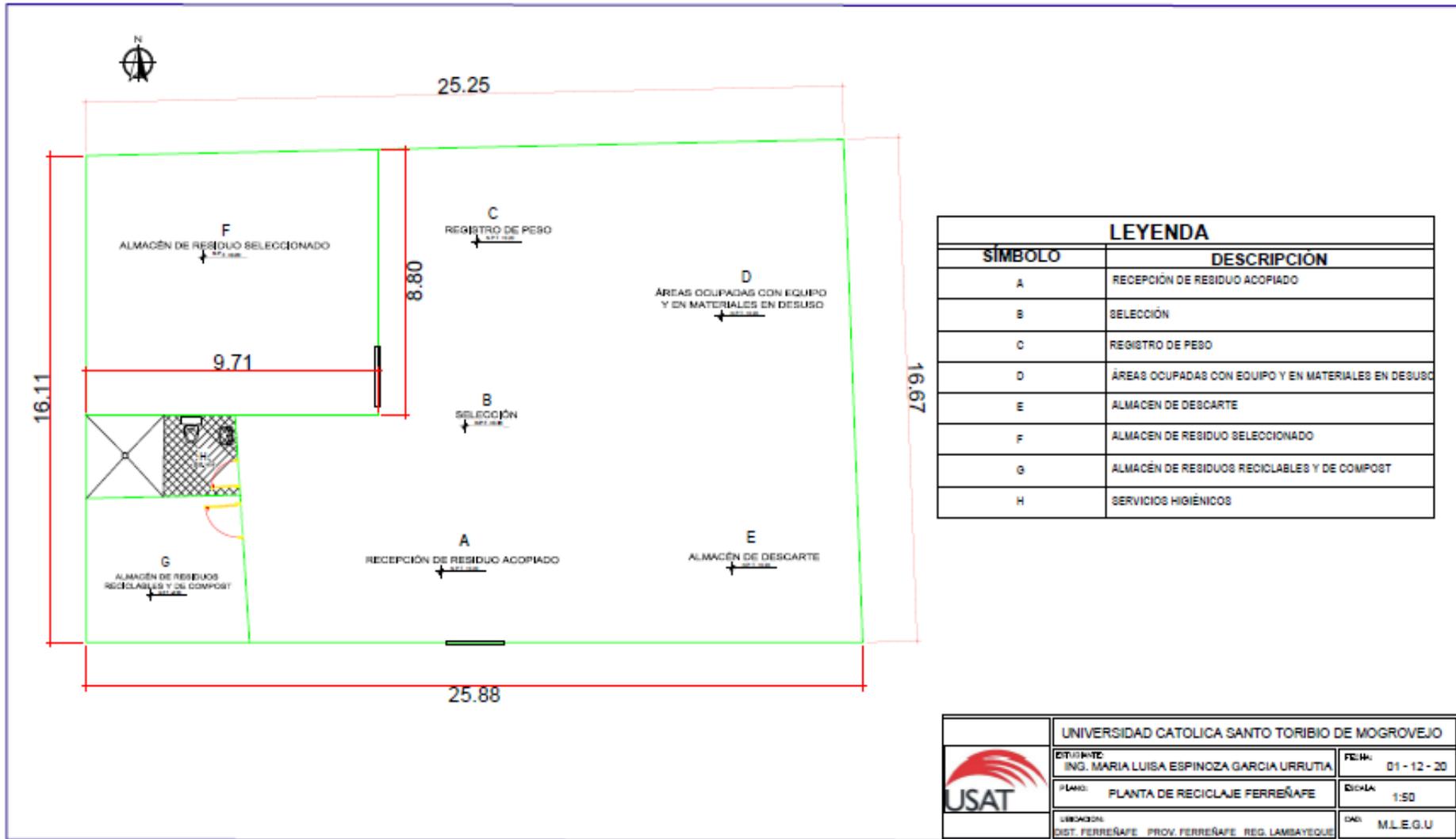


Figura 14. Plano de la actual planta de reciclaje

Fuente: Elaboración propia

A la fecha sólo funciona la balanza que es compartida con otras actividades como la elaboración de compost en otro local, los demás equipo aún se encuentran dentro de la planta pero no se utilizan por estar descompuestos.

El local no cuenta con luz, por lo que la balanza debe cargarse en otro lugar, lo que retrasa el pesaje del residuo. Sí se cuenta con servicio de agua y desagüe.

En ella trabajaban 7 personas hasta el 2015, que incluía un administrativo, el chofer de la motofurgoneta y 5 obreros. En la actualidad, la planta es operada por la Asociación de recicladores Santa Lucía, con una sola persona perteneciente a esta asociación y el apoyo de dos personas para la recolección. Luego, una persona se dedica a la selección del material recogido.

### 3.1.3.1. Proceso de producción

Se identificaron las siguientes etapas manuales.

#### a) Recepción y descarga

El procesos empieza con la recepción del residuo sólido acopiado, para lo cual la motofurgoneta ingresa al área de selección. Luego se descarga el residuo con el uso de escobas (fig. 15).



**Figura 15. Descarga de residuos sólidos aprovechables**

Fuente: Elaboración propia

### **b) Clasificación**

En esta etapa, se procede a la separación del residuo recolectado en plástico PET, plástico duro (envases de yogurt, lejía y tapas), cartones, papel (blanco, de color y periódico) y chatarra (latas y otros metales). Estos materiales se colocan en recipientes improvisados de acuerdo al tipo. El material que no cumple con las características, ni tipo de residuo aprovechable es separado para su eliminación mediante el sistema tradicional. A este material se le denomina descarte.

### **c) Pesado**

El material clasificado se pesa y registra en un cuaderno, incluyendo el material de descarte. Esta etapa se realizará en ese momento o esperará hasta que se tenga disponible la balanza.

### **d) Vaciado a Big bag**

Luego del pesado, el material clasificado se lleva al almacén donde es vaciado a en grandes bolsas de polipropileno (big bag), sin ningún tipo de compactación u otra forma de reducción de volumen.

### **e) Almacenamiento**

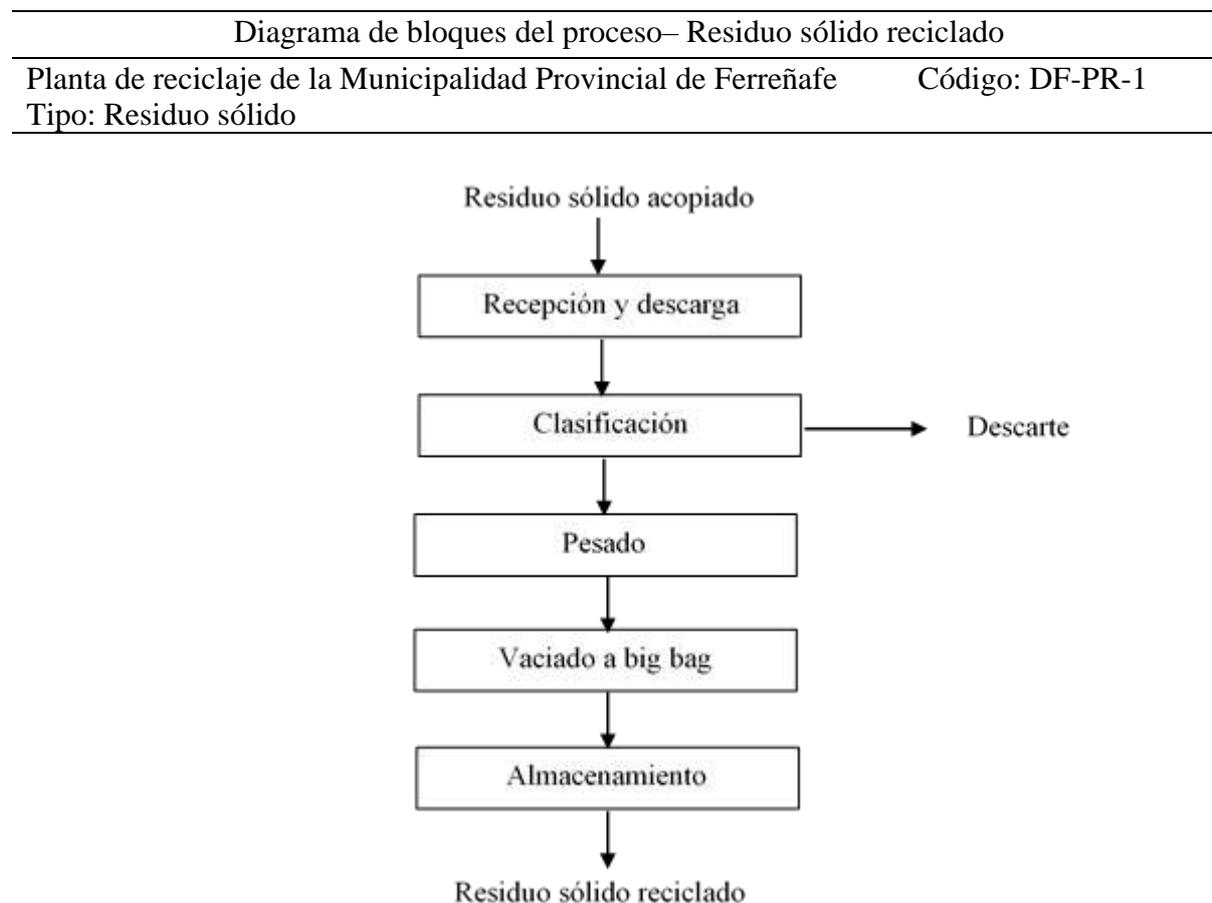
El material se almacena hasta que se acumule material suficiente para su venta (figura 16).



**Figura 16. Descarga de residuos sólidos aprovechables**

Fuente: Elaboración propia

La figura 17 muestra el diagrama de flujo del proceso observado en la planta de reciclaje. El pesado en algunas ocasiones no se realiza por los motivos expuestos líneas arriba.



**Figura 17. Diagrama de bloques del proceso observado en la planta de reciclaje**

Fuente: Elaboración propia

El diagrama de operaciones del proceso (DOP) se observa en la fig. 18, cuenta con una etapa mixta de operación y control, donde a la vez que se clasifican en los tipos de residuos, se separan los residuos considerados como descarte, debido a que los pobladores no realizan correctamente la segregación en sus casas. El material procesado promedio es de 76 kg al día, tal como se expresa en el DOP, produciéndose 60 kg, aproximadamente.

La figura 19 es el diagrama de análisis de proceso (DAP), se puede observar un tiempo de espera de al menos 3 horas para empezar a clasificar, tiempo que una obrera utiliza para limpiar el área, mientras que el resto del personal se dedica al acopio del material recorriendo las calles junto con el chofer y la motofurgoneta. Este punto se convierte en un cuello de botella para la producción. Por otro lado, el residuo clasificado aguarda en el almacén hasta tres meses para su despacho, dependiendo de la cantidad de material acopiado.

---

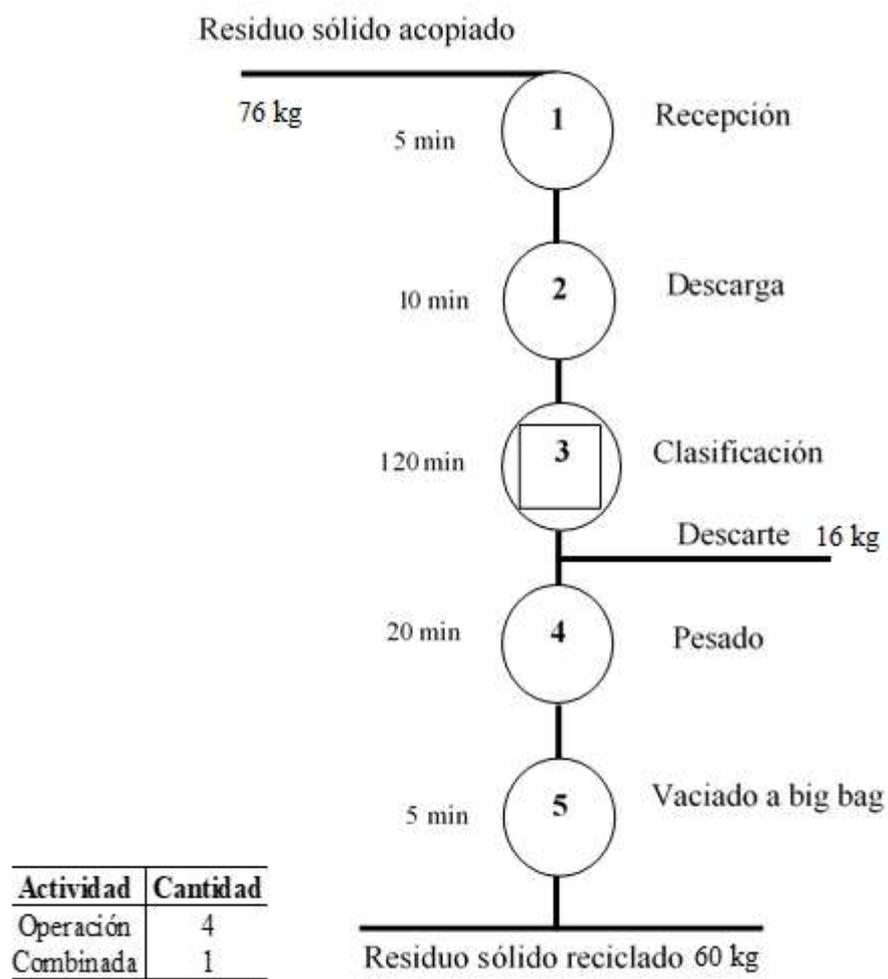
 Diagrama de Operaciones de Proceso – Residuo sólido reciclado
 

---

Planta de reciclaje de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe

Código: DOP-PR-1

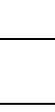
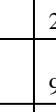
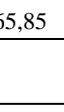
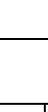
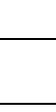
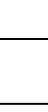
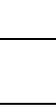
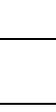
Tipo: Residuo sólido




---

**Figura 18. Diagrama de Operaciones el Proceso de la planta de reciclaje**

Fuente: Elaboración propia

Ubicación:	Resumen			
	Actividad	Actual		
Planta de reciclaje				
Actividad:	Operación	5		
	Segregación de residuo	Transporte	2	
Método:	Demora	1		
	Actual	Inspección	1	
Tipo:	Almacenaje	1		
	Residuo sólido	Tiempo (h)	2165,85	
60 kg	Distancia (m)	9		
Actividad	Símbolo	Tiempo (min)	Distancia (m)	Descripción
Espera de residuo		180	-	Espera de la llegada del residuo acopiado
Recepción de residuo		5	3	Ingreso de motofurgoneta con residuo a la planta
Descarga de residuo		10	-	Descarga de residuo acopiado desde la motofurgoneta
Clasificación		120	-	Clasificación del residuo colocándolos envases provisionales (cajas y sacos) y separación del descarte
Transporte		1	3	Traslado a la zona de balanza
Pesado		20	-	Medición de la masa de cada fracción de residuo
Transporte a almacén		5	3	Traslado de las fracciones de residuos clasificados
Vaciado a big bag		5	-	Vaciar residuo clasificado a recipiente para almacenamiento
Almacenamiento		129 600 (3 meses)	-	Almacenamiento de residuo clasificado hasta su venta

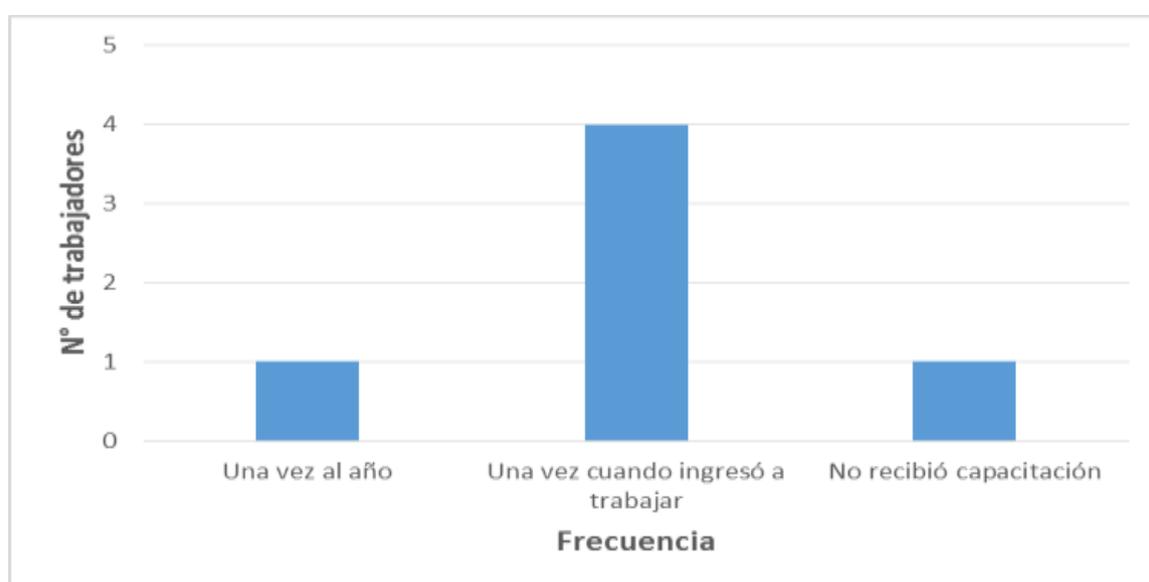
**Figura 19. Diagrama de análisis del proceso observado en la planta de reciclaje**

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3.2. Problemas con Mano de Obra

#### a) Personal no capacitado

La Planta de Reciclaje en el año 2015 contaba con 1 personal administrativo, 1 chofer y 4 operarias. Se realizaron entrevistas al chofer y a las operarias, el primero menciona que no recibió capacitación alguna en todo el periodo en que venía trabajando en la Planta de Reciclaje. En tanto que las obreras indicaron que recibieron una charla al iniciar su trabajo en la Planta de reciclaje. Una de ellas informó que se les invitaba a charlas en la Municipalidad, pero eran opcionales.



**Figura 20. Frecuencia de capacitación de los trabajadores de la Planta de Reciclaje**  
Fuente: Elaboración propia

Se presenta en la fig. 20 que al menos en ese año, el personal recibió una capacitación inicial, pero no es suficiente para un buen desempeño en su labor así como la motivación necesaria para hacer las cosas bien.

Los temas tratados en la charla inicial fueron sobre separación de residuos por tipos y sobre cómo tratar a los pobladores durante el acopio de residuos sólidos. El tiempo de la charla fue de dos horas. Las charlas estuvieron a cargo del encargado de la Planta de reciclaje, que a su vez era el jefe del área de Seguridad Ciudadana y Defensa Civil de la Municipalidad. Además se mencionó sobre la presencia de personas invitadas.

En la actualidad, la única persona que está capacitada es la encargada de la Asociación de recicladores, siendo ella la que se ocupa de la clasificación, para evitar que

el material de descarte se mezcle con el residuo aprovechable. También indica que aprende de la experiencia, del trabajo día a día, sobre todo al momento de la venta del residuo aprovechable. La empresa que compra el residuo sólido verifica el material que se pretende vender, eliminando aquel que no cumpla con los requerimientos.

En la tabla 11, se establece el costo perdido por no tener personal capacitado, reflejándose en el acopio de material. Se considera el costo de acopio, dado que el residuo se recoge casa por casa, teniendo contacto directo con el vecino. Es en este momento que se puede realizar la discriminación del residuo que se está recibiendo, perdiendo no sólo la oportunidad de regresar el material que no cumple con las características requeridas, sino de retroalimentar al poblador sobre segregación de residuos aprovechables y sobre las condiciones en que se deba entregar el residuo.

El costo perdido en soles por el descarte se ha determinado con el costo de recolección resultado de la suma del costo de mano de obra y el costo de combustible utilizado para el acopio de esa masa de residuo. Para el año 2019 se consideró el pago de 4 integrantes de la asociación, obtenido de la venta de residuos.

**Tabla 11. Costo perdido por descarte**

<b>Año</b>	<b>Descarte (kg/año)</b>	<b>Descarte (kg/mes)</b>	<b>Costo de recolección (soles/mes)</b>	<b>Costo anual (soles)</b>
2013	4909,16	409,10	1201,22	14 414,66
2014	6585,00	548,75	1267,64	15 211,69
2015	2009,1	167,43	1144,05	13 728,64
2016	2874	239,50	1236,95	14 843,43
2019	2069,6	172,46	702,27	8427,56

Fuente: Elaboración propia

### **b) Mano de Obra Ociosa**

Se pudo comprobar que debido a la cantidad de material acopiado, las operarias terminan su labor por la mañana, teniendo horas libres por la tarde, en la cual se sientan a esperar la hora de salida (figura 21).



**Figura 21. Mano de obra ociosa**

Fuente: Elaboración propia

La tabla 12 muestra los costos perdidos por mano de obra ociosa.

**Tabla 12. Costo perdido por mano de obra ociosa**

Ítem	Valor
Salario mínimo del 2013 al 2015 (soles)	750
Salario mínimo 2016 (soles)	850
Horas al mes	180
Costo por hora (soles)	4,2
Horas sin trabajo efectivo al mes	72
Nº de operarias	4
Costo total al mes (soles)	1200
Costo total al año (2013-2015) (soles)	14 400
Costo total al año (2016) (soles)	16 320

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1.3. Problemas con Materiales

#### a) Abastecimiento de residuo sólido

El abastecimiento de residuo sólido es realizado por las operarias y el chofer. Recorren las calles. El chofer conduce la motofurgoneta y dos de las obreras lo siguen

en su recorrido, en tanto que las otras dos obreras se quedan en la planta de reciclaje haciendo limpieza, esperando la primera carga de residuo (fig. 22)



**Figura 22. Obreras en pleno recorrido de calles acopiando los residuos sólidos**

Fuente: Elaboración propia

Los recorridos para el acopio se muestran en la tabla 8. Esto demuestra que se recoge el residuo de una casa solo una vez a la semana y en algunos casos, no vuelven a la siguiente semana o los vecinos no entregan el material.

En la tabla 9, resume la cantidad de residuos sólidos acopiados durante el periodo del 2013 al 2019, lo que comprueba que el acopio del residuo es incipiente, influyendo en las actividades de la planta y el trabajo del personal. La tabla 13 muestra el monto que perdió la Planta de Reciclaje por no acopiar el material potencialmente reciclable.

**Tabla 13. Pérdida económica por no acopiar el residuo aprovechable**

<b>Material</b>	Papel blanco (soles/año)	Papel Mixto (soles/año)	Periódico (soles/año)	Cartón (soles/año)	Vidrio blanco (soles/año)	Vidrio Verde (soles/año)	Hojalata (soles/año)	Metales (soles/año)	PET (soles/año)	PEAD (soles/año)	PEBD (soles/año)	Total (soles al año)
<b>Precio del material soles/t</b>	500	200	200	100	100	90	500	500	500	500	500	
2013	78 882,50	8200,80	89 216,40	42 010,00	2124,20	3823,56	67 916,50	42 484,00	152 949,50	52 270,00	63 726,00	603 603,46
2014	78 860,00	8121,60	89 308,80	42 046,00	2126,40	3827,52	67 788,00	42 528,00	152 434,00	52 110,00	63 792,00	602 942,32
2015	77 685,00	8109,60	89 392,80	42 383,00	2128,40	3831,12	68 888,00	42 568,00	153 104,00	52 370,00	63 852,00	604 311,92
2016	79 197,50	8098,40	89 485,20	42 392,00	2130,60	3835,08	68 509,50	42 612,00	153 593,50	52 610,00	63 918,00	606 381,78
2019	111 092,50	25 976,80	74 153,90	37 387,75	17 737,10	2692,62	62 705,75	18 698,75	119 126,25	102 026,00	53 959,25	625 556,67

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1.4. Problemas con la Medición

#### a) No se tienen indicadores de producción y de productividad

No se han calculado los indicadores de producción ni de productividad, esto se debe a desconocimiento por parte de las personas que tienen a cargo la Planta de Reciclaje.

#### b) No se supervisan los procesos

Los procesos no se supervisan (fig. 23), lo que se pudo constatar durante las visitas realizadas a la Planta de Reciclaje. En las entrevistas con los trabajadores manifestaron que el Supervisor del Programa llega a verificar que hayan realizado el trabajo, sobre todo a recoger información de lo seleccionado en el día.

El costo asociado a es problema se observa en la tabla 10.



**Figura 23. Personal trabajando sin supervisión**

Fuente: Elaboración propia

### **c) No se mide el desempeño de los trabajadores**

Entre cada grupo de trabajadores contratados por periodos no se ha medido el desempeño.

En la tabla 14, se calculó la pérdida por no medir el desempeño de los trabajadores, para tal fin se han comparado dos grupos de operarios en distintos periodos.

Primero se calculó el costo de mano de obra en soles por kg acopiado y seleccionado. Luego se determinó la diferencia entre los grupos y finalmente, se determinó la pérdida.

**Tabla 14. Pérdida relacionada al desempeño de los trabajadores de acopio y selección de residuos sólidos**

Ítem	Grupo 1 Periodo 21/04/14 al 02/05/14	Grupo 2 Periodo 02/01/15 al 20/01/15
Residuo acopiado y seleccionado durante el periodo (kg)	1174,73	705,78
Días trabajados	9	13
N° de trabajadores	5	4
Promedio kg de residuo acopiado y seleccionado al día por obrera	26,11	13,57
Costo de mano de obra por día y por obrera en soles/día	33,33	33,33
Costo de mano de obra en S/,/kg de residuo	1,28	2,46
Diferencia (pérdida por bajo desempeño)		1,18
Pérdida en soles por día y por obrera		16,00
Pérdida en soles al año por obrera		4160,65
Pérdida total en soles al año		16 642,61

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1.5. Problemas con Máquinas

#### a) Maquinaria para la selección no funciona

Cuando inició sus operaciones la planta de reciclaje tenía operativa una faja de selección de residuo sólido con sus respectivos recipientes metálicos para el residuo sólido seleccionado. La falta de mantenimiento, sumado a los periodos de inactividad de la planta de reciclaje terminó por dejar inoperativos estas maquinarias. En la figura 24, se observa esta realidad, la faja de selección actualmente está siendo utilizada para almacenar material de desecho diverso. Asimismo se pudo constatar que le faltan piezas, el motor al parecer se encuentra arrumado en el almacén y no se conoce si funciona (fig. 25)

Se analiza la maquinaria porque está relacionada con la capacidad de procesamiento de la planta, en cantidad a tratar así como al valor agregado que se pueda dar al residuo acopiado.



**Figura 24. Faja de selección malograda**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 25. Parte de la faja (motor y contenedor) en desuso**

Fuente: Elaboración propia

**b) No se cuenta con maquinaria para tratamiento de residuos seleccionados.**

En los primeros años, la planta de reciclaje también contaba con una compactadora de papel y cartón, pero actualmente se encuentra en desuso, tal como refieren los trabajadores está averiada, se pudo verificar que se le consideró en el inventario del año 2013 (fig. 26)

No existe ninguna maquinarias que permita darle un tratamiento al material seleccionado.



**Figura 26. Compactadora en desuso**

Fuente: Elaboración propia

El material seleccionado en planta se envasa en saquetas, según el tipo de material y se almacena hasta su venta. El residuo no recibe ningún tratamiento que permita agregarle valor. Por ejemplo, en el caso del plástico se podría vender en hojuela o pelletizado.

Lo mismo sucede con las latas como se puede observar en la figura, no se le remueve la etiqueta y no se le compacta, originando que ocupe más área (fig. 27). También implica que se utilice un camión con mayor capacidad volumétrica para llevar el material.



**Figura 27. Material seleccionado sin ningún tratamiento**

Fuente: Elaboración propia

Se ha determinado la pérdida por venta de residuo plástico sin valor agregado (tabla 15). En su momento el plástico en hojuela de PET incoloro podía venderse en 2,5 soles/kg. En la actualidad se puede vender por 1,5 soles/ kg de hojuela, considerando una buena selección de plástico.

**Tabla 15. Pérdida por venta de residuo plástico sin valor agregado**

Año	PET (kg/año)	Envase de aceite (kg/año)	Envases de yogurt y lejía (kg/año)	Plástico duro (kg/año)	Tapas de polipropileno (kg/año)	Total (soles/año)
2013	3215,12	745,53	862,53	1629,03	246,21	6698,42
2014	4830,88	1558,62	1335,60	1811,16	796,50	10332,76
2015	3445,60	1037,45	1738,20	1980,09	2307,08	10508,41
2016	2952,00	410,40	555,30	1406,70	199,80	5524,20
2019	1745,60	410,40		1104,40		3260,40

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1.6. Problemas con Métodos

#### a) Alto porcentaje de mermas

La producción de mermas, es decir el descarte obtenido durante la segregación origina costos de eliminación de este material, para lo cual debe usarse el camión recolector de basura y ser llevado al botadero para su eliminación con un costo de 141,01 soles por tonelada. En la figura 28, se grafica el porcentaje de descarte de residuo acopiado.



**Figura 28. Alto porcentaje de mermas**

Fuente: Elaboración propia

Se ha calculado el costo eliminación de residuo sólido de descarte en base al costo de eliminación en el botadero (tabla 16).

**Tabla 16. Costo total eliminación en el botadero**

<b>Año</b>	<b>Descarte (kg/año)</b>	<b>Descarte (kg/mes)</b>	<b>Costo mensual (soles)</b>	<b>Costo anual (soles)</b>
2013	4909,16	409,10	57,31	687,77
2014	6585,00	548,75	76,88	922,56
2015	2009,10	167,43	23,46	281,47
2016	2874,00	239,50	33,55	402,65

Fuente: Elaboración propia

### **b) Procesos no estandarizados**

De acuerdo a la entrevista realizada a los trabajadores, no tienen un manual de procedimientos, no se tiene un organigrama definido, no hay manual de funciones y los procesos no están estandarizados. En la figura 29, se observa que la descarga lo hace el chofer o lo puede hacer una operaria. Asimismo, se sientan alrededor de la ruma de residuos y todas seleccionan sin especializarse en un residuo.

Cada grupo de operarias contratadas en un determinado tiempo realizan las labores según les parezca mejor. Inclusive en la última visita realizada a la planta, la balanza electrónica no se encontraba en el local, hacía varios días, pero para el personal esta situación no era un problema, ya que anotaban los pesos según su percepción.

Esta situación afecta la etapa de clasificación porque se verifican errores en la separación del material, lo que se constata en el momento de la venta a la empresa comercializadora. Cuando el material llega a la empresa comercializadora, se pesa y se verifica que el material al interior de los sacos corresponda a la etiqueta. Si no es así, el material que no corresponda a los requerimientos de la empresa es separado, pesado y descontado del peso inicial, trayendo pérdidas en selección, combustible, etc. Lamentablemente no se tiene registro de estos pesos descontados.

### **c) No existe plan de producción**

De acuerdo a la entrevista realizadas todos los operarios indicaron que no existe un plan de producción. El responsable del Programa de Segregación de Residuos

Sólidos Urbanos y el supervisor manifestaron que el plan de producción consiste en cumplir con los parámetros establecidos en su momento por la meta 10 del DS N° 015-2014-EF [48].



**Figura 29. No se tienen estandarizados los procesos**

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.17. Problemas con Medio ambiente

#### a) Almacén de residuo sólido seleccionado reducido

Se ha podido identificar las “áreas” que se listan en la tabla 17, considerando los materiales y actividades observadas en las visitas hechas a la planta, y en la figura 14 se muestra el plano de la Planta de Reciclaje.

El residuo se puede ver en todas las áreas de la planta, además se debe considerar que este residuo se venda al menos cada tres meses o cuando se llene el área de la planta.

**Tabla 17. Áreas de la planta de segregación**

Áreas	m <sup>2</sup>
Recepción de residuo acopiado	175,7
Selección	
Registro de peso	
Áreas ocupadas con equipo y materiales en desuso	
Almacén de descarte	
Almacén de residuo seleccionado	50,2
Almacén de residuos reciclables y de compost	16
Servicios higiénicos	8,5
Total	250,4

Fuente: Elaboración propia

#### **b) Espacio reducido para las operaciones de la planta**

En la figura 30 se evidencia que el área donde se deberían realizar las operaciones de segregación y tratamiento, también se encuentra material almacenado, ya sea para venta o para eliminación.



**Figura 30. El residuo seleccionado está ubicado en el área de producción**

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.1.8. Rentabilidad

Se ha analizado líneas arriba los problemas presentados en la planta de reciclaje que en definitiva impactan sobre el programa de segregación en la fuente y recogida selectiva. Para ser un proyecto rentable, debería reflejarse en la generación de trabajo así como otros beneficios como es liberar recursos que el mismo proyecto debería generar.

Tal como se ha identificado la cantidad de residuo que se valoriza y no va a un botadero no sobrepasa el 1 % y se ha hecho uso de recursos sin que realmente se obtengan beneficios, ni por la venta de residuos ni por la generación de empleos. A pesar de esta realidad, el programa y el trabajo en la planta de reciclaje no puede parar por la exigencia de la normatividad peruana [3] y por el programa de incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal del Ministerio de Economía y Finanzas, específicamente, la meta 3: Implementación de un sistema integrado de manejo de residuos sólidos municipales [49], programa que busca mejorar la efectividad y eficiencia del gasto público en las municipalidades, contribuyendo a la mejora de los servicios ofrecidos a la comunidad, a la vez que mejoran las recaudaciones.

En la tabla 18 se ha calculado el costo del residuo valorizado, para el año 2015 y el año 2019. Para el 2015, se ha considerado el pago al personal de 750 soles mensuales. Para el año 2020, el pago del chofer con beneficios [50], para ambos casos un costo de combustible de 5 soles diarios. Los otros operarios, con el sueldo básico sin beneficios. No se consideraron costos fijos como mano de obra indirecta porque ellos tienen otras funciones dentro de la Municipalidad. En cuanto a servicios, no se cuenta con servicio de luz y el de agua es de tipo domiciliario con un solo baño.

**Tabla 18. Costo de residuo reciclado**

Ítem	2015	2019
N° de operarios	4	4
Chofer	1	1
Días trabajados	251	252
Costo combustible	1255	1260
Costo Personal	65164,5	60800,8
Residuo acopiado y disponible para reciclaje	15236	15240
Costo (soles/kg)	4,36	4,07

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19, se muestra la venta en soles por año producto del residuo acopiado y segregado en los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2019.

**Tabla 19. Venta de residuo sólido reciclado en soles/año**

Año	PET	Latas	Cartón	Papel blanco	Papel color	Envase de aceite	Envases de yogurt y lejía	Plástico duro	Tapas de polipropileno	Total (soles/año)
2013	805	1120	474	775	296	250	290	545	80	4635
2014	1210	1320	482	880	384	520	445	605	265	6111
2015	860	285	185	2130	404	345	580	260	770	5819
2016	740	735	220	700	424	135	185	470	65	3674
2019	875	870	544	1100	522	205	0	550	0	4666

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la tabla 20 se presenta la utilidad obtenida de restar los ingresos por venta de material menos los costos de residuos reciclados, determinados a partir de los resultados de la tabla 18, a manera de aproximación considerando sólo los costos asociados directamente al acopio y segregación de residuos. Como se puede observar el valor resultante es negativo, por lo que no podemos determinar rentabilidad, dado que ésta sería menor a cero.

**Tabla 20. Utilidad de la planta de reciclaje**

Año	Material vendido t/año	Venta (soles/año)	Costos (soles/año)	Utilidad (soles/año)
2013	13,95	4635	60 822,0	-56 187,0
2014	17,23	6111	75 122,8	-69 011,8
2015	14,33	5819	62 478,8	-56 659,8
2016	10,38	3674	45 256,8	-41 582,8
2019	15,25	4666	62 067,5	-57 401,5

Como conclusión de este objetivo, partiendo de la fuente de generación, menos del 1% de los residuos sólidos reciclables como metal, plástico, cartón y papel son acopiados y trasladados a una planta de reciclaje para su posterior venta. Este programa presenta además la generación de descarte que es eliminado en el botadero. El análisis de las actividades en la planta de reciclaje arroja que existen una serie de pérdidas económicas debido a que no se ha planificado y estructurado adecuadamente el trabajo: no se tiene un plan de producción, aunque se guían por los requerimientos de las normas e incentivos y no se han establecido los indicadores de rendimiento, eficiencia y eficacia de la producción. El personal no está calificado ni entrenado en temas de reciclaje, asimismo no está motivado. No se cuenta con equipos de tratamiento y no se han analizado diversas alternativas de tratamiento para cada

residuo, ni se ha planificado ampliar la recolección a otros tipos de residuos. No se cuenta con supervisión constante, ni control de calidad. El residuo clasificado se almacena durante unos tres meses, con la finalidad de juntar un volumen considerable para su venta. Se genera material de descarte (hasta 30 % del material recolectado) y se almacena a la espera del camión recogedor de basura que los llevará al botadero. El almacenamiento de residuos trae consigo problemas de olores desagradables y la proliferación de insectos y roedores. No se tiene un inventario del material almacenado, ni se utilizan registros de entrada ni salida de material.

Asimismo, la determinación de la rentabilidad económica no es conveniente al tenerse una utilidad negativa. Y si ampliamos el término a una rentabilidad social, tampoco satisface al no generar fuentes de trabajo, no evitar el uso de recursos que ahora usa la gestión de residuos ni la disminución de GEI.

### **3.2. DISEÑO DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA PLANTA DE RECICLAJE EN LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE FERREÑAFE**

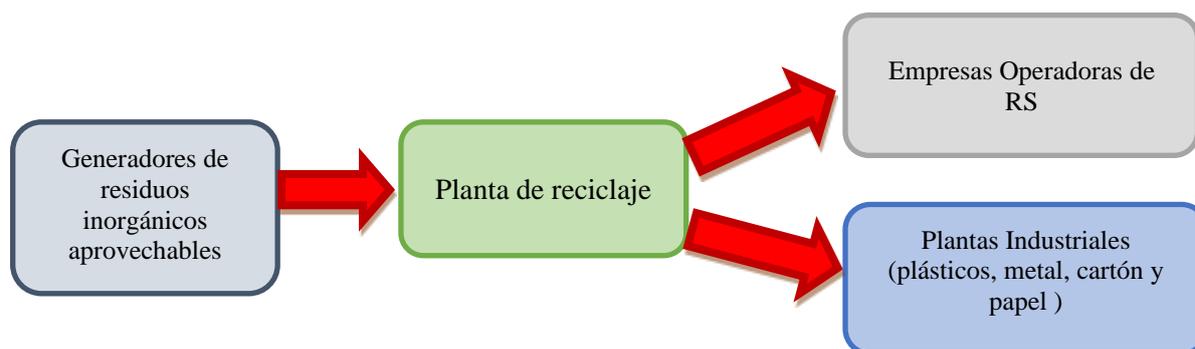
#### **3.2.1. Cadena logística inversa propuesta de los residuos sólidos urbanos inorgánicos aprovechables**

El Ministerio del Ambiente en su calidad de ente rector en el país en el tema de la gestión y manejo de residuos [3] promueve la implementación de un sistema de gestión integral de residuos en las municipalidades en los que se priorice la valorización de residuos orgánicos e inorgánicos con el objetivo que se reduzca el volumen de residuos eliminados en botaderos y rellenos sanitarios [51].

Para hacerlo posible, es necesaria la implementación de un sistema de recolección selectiva e informar a los habitantes sobre el sistema para que los residuos sean clasificados en la fuente generadora [9], situación que viene promoviéndose aunque de forma incipiente.

Para este trabajo se han considerado diecisiete tipos de materiales reciclables y que cuentan con mercado para su venta [52] [53], [54]: Papel blanco, papel color, periódico, cartón blanco, cartón marrón, cartón mixto, PET, PEAD, PEBD, PP, PVC, PS, vidrio incoloro, vidrio color, hojalata fierro y aluminio.

La cadena logística inversa de RSU propuesta se divide en tres etapas, situación coincidente con [9]. En la primera etapa se trata de la generación y segregación en el origen, la segunda se avoca a recolección selectiva del residuo sólido inorgánico aprovechable traslado a una planta de reciclaje para su segregación en 17 tipos de residuos identificados, dándoles un valor agregado con el fin de conseguir un mejor precio en el mercado asimismo se reduce el volumen de residuos eliminados en el botadero. La tercera etapa comprende las opciones de reciclaje a través de empresas operadoras de residuo sólido o directamente con las plantas industriales que usarán estos residuos como materias primas para sus procesos, siendo esto último lo ideal para maximizar ingresos, sin embargo su ubicación geográfica distante de la planta de reciclaje así como los volúmenes que se manejen hacen inconveniente esta opción. Para este tipo de residuo, con menor cantidad de generación, lo mejor será venderlo a las empresas comercializadoras. La figura 31 esquematiza la cadena de logística inversa para la gestión y manejo de residuos sólidos inorgánicos aprovechables en Ferreñafe.



**Figura 31. Configuración de la cadena de logística inversa para residuos inorgánicos aprovechables de Ferreñafe**

Fuente: Elaboración propia

A continuación se describen cada eslabón de la cadena de suministro inversa, considerando las mejoras propuestas para cada uno.

### 3.2.1.1. Generadores de residuos sólidos inorgánicos aprovechables

Para este modelo de logística inversa, los generadores de residuos sólidos son los proveedores. Los residuos sólidos se originan en los domicilios, comercios e instituciones (colegios e institutos) y parques ubicados en la zona urbana de Ferreñafe.

En tal sentido, es necesario capacitar a la población en temas de reciclaje, sobre todo en la segregación de residuos en el origen, en domicilio así como en las calles, parques, instituciones, entre otros lugares del ámbito municipal. Y, tanto o más importante, lograr que se comprometan y tengan total disposición en participar en los programas de capacitación y separación de residuos a través del uso de depósitos diferenciados como inorgánicos aprovechables al interior de sus casas y en cualquier lugar de la ciudad. Los temas para tratar en charlas a los responsables, trabajadores y vecinos involucran en aprender a separar los residuos, almacenarlos y los beneficios que traerán estas actividades.

Esta primera parte ya está en progreso, la municipalidad ha empezado con la sensibilización de los habitantes de más de 500 viviendas de la ciudad, aunque se requiere de un constante refuerzo que les haga recordar su compromiso con el programa. Se requiere establecer políticas de educación ambiental e incentivos que alienten la participación de la ciudadanía. La difusión y sensibilización son puntos importantes para el éxito de la propuesta.

Asimismo, la entrega de sacos de polipropileno blanco para almacenar este tipo de residuos en el domicilio hasta su recogida. Para evitar formación de efluentes, en

especial para envases a desechar, se deben enjuagar antes de ser desechados. En las instituciones, mercados y parques se requiere de recipientes verdes [33]

En la tabla 21 se presenta la generación de residuos inorgánicos aprovechables tanto domiciliarios y no domiciliarios en base al porcentaje tomado de [43], 28,77 % para los RSD y 10,44 % de los segundos en base al total de residuo generado. En la última columna, se ha calculado la cantidad en toneladas al año que se proponen aprovechar. En las tablas siguientes 22, 23 y 24 se muestran presentaciones por tipo de residuo. En los anexos del 2 al 6 se detallan las proyecciones por tipo y origen.

**Tabla 21. Proyección de la generación de residuos aprovechables inorgánicos domiciliarios y no domiciliarios**

<b>Año</b>	<b>Generación RSD (t/año)</b>	<b>Generación RS no domiciliarios (t/año)</b>	<b>Residuos inorgánicos RSD ( t/año)</b>	<b>Residuos inorgánicos RS no D (t/año)</b>	<b>Total de RS inorgánicos (t/año)</b>	<b>RS inorgánicos para aprovechar (t/año)</b>
2021	7494	3212	2156	335	2491	2482
2022	7502	3215	2158	336	2494	2484
2023	7509	3218	2160	336	2496	2486
2024	7517	3222	2163	336	2499	2489
2025	7524	3225	2165	337	2501	2491
2026	7532	3228	2167	337	2504	2494
2027	7540	3231	2169	337	2506	2496
2028	7547	3234	2171	338	2509	2499
2029	7555	3238	2173	338	2511	2501
2030	7562	3241	2176	338	2514	2504

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22. Proyección de la generación de residuos: papel y cartón**

<b>Año</b>	<b>Papel blanco (t/año)</b>	<b>Papel color (t/año)</b>	<b>Periódico (t/año)</b>	<b>Cartón blanco (t/año)</b>	<b>Cartón marrón (t/año)</b>	<b>Mixto (t/año)</b>
2021	274,40	122,05	495,81	127,41	215,41	74,09
2022	274,68	122,17	496,31	127,53	215,63	74,16
2023	274,95	122,30	496,80	127,66	215,84	74,24
2024	275,23	122,42	497,30	127,79	216,06	74,31
2025	275,50	122,54	497,80	127,92	216,28	74,38
2026	275,78	122,66	498,30	128,04	216,49	74,46
2027	276,06	122,79	498,79	128,17	216,71	74,53
2028	276,33	122,91	499,29	128,30	216,92	74,61
2029	276,61	123,03	499,79	128,43	217,14	74,68
2030	276,88	123,16	500,29	128,56	217,36	74,76

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 23. Proyección de la generación de residuos: plásticos**

<b>Año</b>	<b>PET (t/año)</b>	<b>PEAD (t/año)</b>	<b>PEBD (t/año)</b>	<b>PP (t/año)</b>	<b>PS (t/año)</b>	<b>PVC (t/año)</b>
2021	276,44	260,91	140,25	31,69	10,92	14,24
2022	276,72	261,18	140,39	31,72	10,93	14,25
2023	276,99	261,44	140,53	31,75	10,94	14,27
2024	277,27	261,70	140,67	31,79	10,95	14,28
2025	277,55	261,96	140,82	31,82	10,96	14,30
2026	277,82	262,22	140,96	31,85	10,98	14,31
2027	278,10	262,48	141,10	31,88	10,99	14,33
2028	278,38	262,75	141,24	31,91	11,00	14,34
2029	278,66	263,01	141,38	31,95	11,01	14,35
2030	278,94	263,27	141,52	31,98	11,02	14,37

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 24. Proyección de la generación de residuos: vidrios y metales**

<b>Año</b>	<b>Vidrio incolore (t/año)</b>	<b>Vidrio color (t/año)</b>	<b>Hojalata (t/año)</b>	<b>Fierro (t/año)</b>	<b>Aluminio (t/año)</b>
2021	222,37	23,13	143,79	47,96	0,64
2022	222,59	23,15	143,93	48,01	0,64
2023	222,82	23,17	144,07	48,06	0,64
2024	223,04	23,20	144,22	48,11	0,64
2025	223,26	23,22	144,36	48,16	0,64
2026	223,49	23,24	144,51	48,20	0,65
2027	223,71	23,26	144,65	48,25	0,65
2028	223,93	23,29	144,80	48,30	0,65
2029	224,16	23,31	144,94	48,35	0,65
2030	224,38	23,33	145,09	48,40	0,65

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.2. Planta de reciclaje

Esta etapa se empieza con la recolección selectiva de residuos de domicilios, instituciones, mercados y parques. La planta se encarga de recepcionar, seleccionar y embalar la materia prima reciclada que cumpla con las exigencias de calidad para ser vendida. A continuación se describe el proceso.

#### a) Recolección selectiva

La recolección selectiva se realizará con 2 camiones baranda de 20 m<sup>3</sup> que recorrerán una vez por semana diversos sectores de Ferreñafe. Cada camión requiere de un chofer y tres ayudantes. La capacidad del camión se ha calculado en base a las densidades de

la materiales [55] a recoger. Es necesario que el personal de acopio tenga conocimientos sólidos sobre segregación de residuos y buen trato a la población.

#### **b) Recepción**

El camión conteniendo el material acopiado se traslada a la planta de reciclaje, registrando su hora de ingreso, después se dirige a la zona de descarga.

#### **c) Descarga**

El camión descarga el material en la tolva que tiene acoplada una cinta transportadora inclinada y que alimenta a la clasificación. Dos trabajadores ayudan a que el material pueda ingresar a la tolva y a su vez sean arrastrados por la cinta.

#### **d) Clasificación**

El material residual será acarreado por una cinta horizontal. Esta cinta recibirá el material alimentado desde la cinta inclinada de la etapa anterior. A ambos lados de la cinta se tendrán operarios encargados de seleccionar los materiales según los 17 tipos de residuos identificados. Cada uno tendrá a su lado unos contenedores con ruedas, en donde irá depositando el material seleccionado.

#### **e) Prensado**

Los contenedores cuyo contenido sea papel, cartón, metal y los siguientes plásticos: PEBD, PVC, PP y PS, son trasladados al área de prensado. Los materiales se prensan por separado, colocando el residuo en el equipo hasta que su volumen se reduzca obteniendo pacas de 80 x 60 x 70 cm, amarradas con cable de acero N° 14.

#### **f) Molienda**

Los contenedores que contengan PET (separados en cristal y color), PEAD (blanco y color) y vidrio (incolore y color) son transportados al área de molienda. Cada material, incluido color, se procesa por separado.

Los operarios se encargan de alimentar el molino que reducirá el plástico a hojuela, constatando que se el material cumpla con los requisitos de tipo y color. A su vez, el vidrio es triturado en otro molino.

#### **g) Envasado**

El plástico en hojuelas y el vidrio triturado son envasados por separado en sacos de polipropileno de 500 kg (big bag).

#### **h) Pesado**

Las pacas y los sacos son pesados en una balanza de rampa. Los paquetes se rotulan de acuerdo al material que contienen.

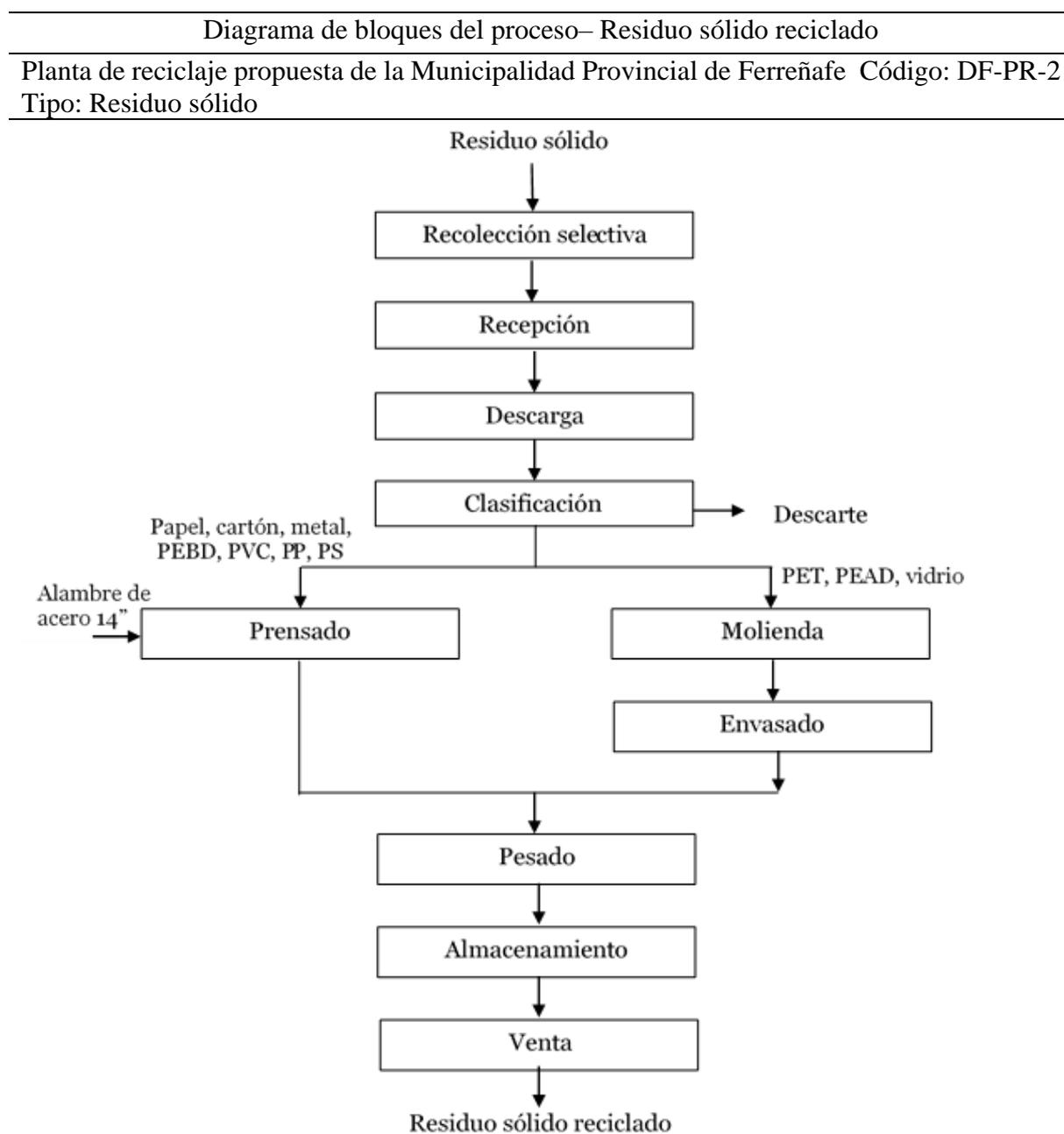
### i) Almacenamiento

Las pacas y los sacos son trasladados al almacén de producto terminado, colocándolos por tipos de material, con el uso de un montacargas.

### j) Venta

El material es cargado en un camión y llevado a empresas de reciclaje.

En la figura 32, se observa el diagrama de flujo de proceso de la planta de reciclaje y en la figura 33, se muestra el DOP.



**Figura 32. Diagrama de flujo del proceso propuesto en la planta de reciclaje**

Fuente: Elaboración propia

---

 Diagrama de Operaciones de Proceso – Residuo sólido reciclado
 

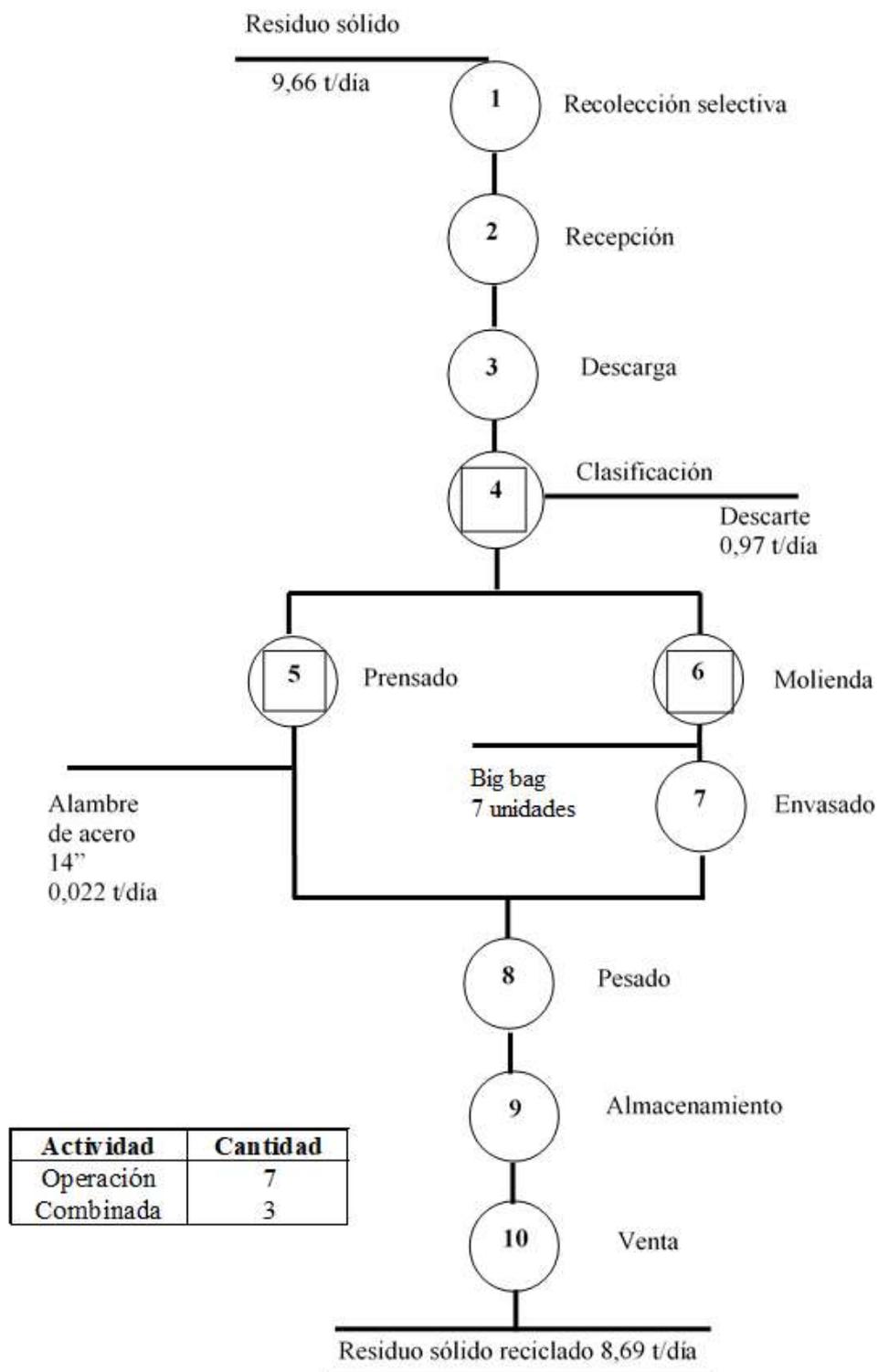
---

 Planta de reciclaje propuesta de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe Código: DOP-PR-2
 

---

 Tipo: Residuo sólido
 

---

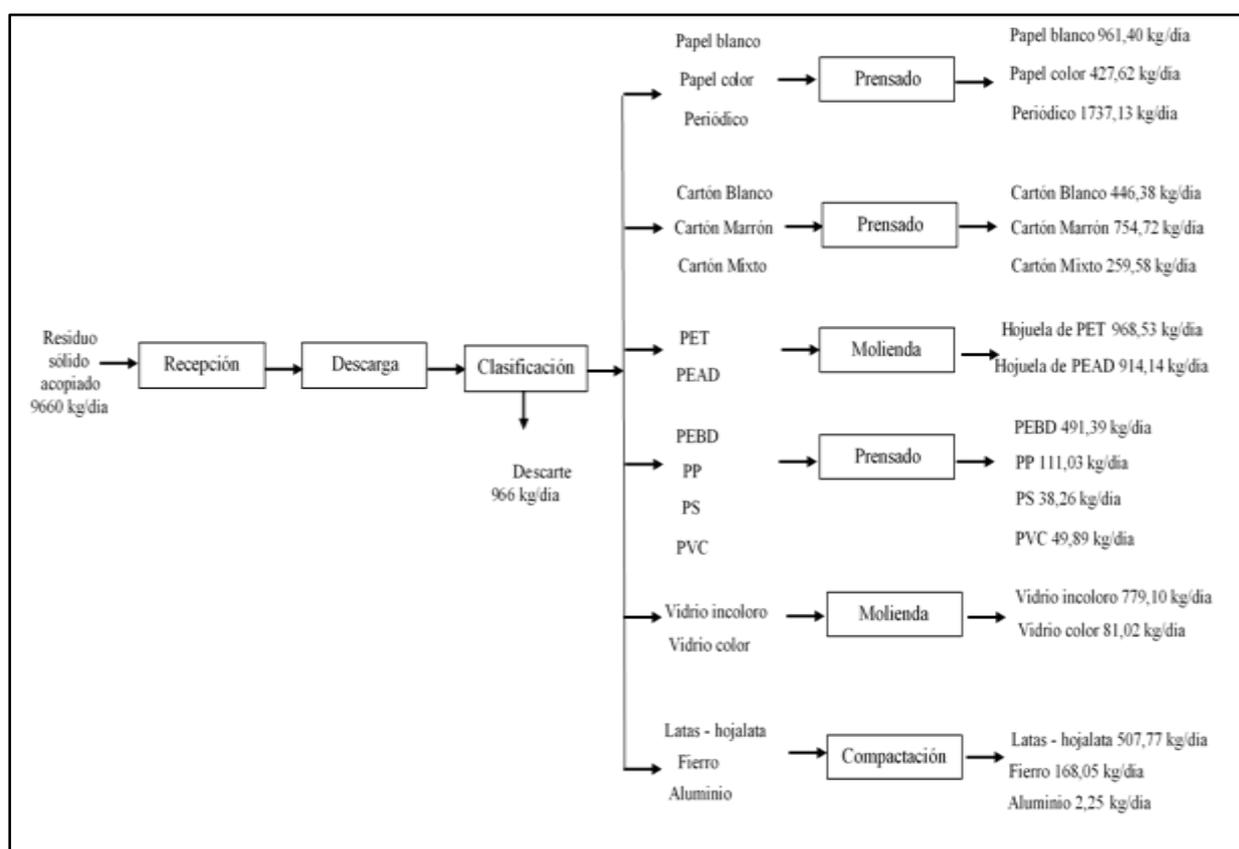

**Figura 33. Diagrama de operaciones del proceso propuesto en la planta de reciclaje**

Fuente: Elaboración propia

La capacidad diseñada de la planta de reciclaje se ha calculado tomando el valor del año 2030, de la proyección de la generación de residuos sólidos que representa la demanda plasmada en la tabla 21. El valor es 2504 t de residuos sólidos inorgánicos aprovechables al año. Asimismo, se considera que la jornada de trabajo es de 8 horas, de lunes a sábado, por tanto son seis días a la semana, cuatro semanas al mes por doce meses, un total de 288 días al año.

$$\text{Capacidad diseñada} = \frac{2504 \text{ t}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{288 \text{ días}} = 8,69 \text{ t/día}$$

En la figura 34, se grafica el balance de materia del proceso, donde se observa que las transformaciones son físicas, a partir de las tablas 22, 23 y 24.



**Figura 34. Balance de materia del proceso**

Fuente: Elaboración propia

La tecnología para usar se lista en la tabla 25, en ella se mencionan los equipos fijos y móviles requeridos para la actividad de la planta de reciclaje. Para la determinación de los equipos de recolección se aplicaron las densidades que figuran en el anexo 7 y para el producto terminado las densidades del anexo 8. En el anexo 9 se detallan las características de los equipos requeridos para la operación de la planta.

**Tabla 25. Tecnología para la planta de reciclaje**

Descripción	Cantidad	Capacidad	Requerimiento de energía
Camión Baranda	2	20 m <sup>3</sup>	
Montacarga	1	2,5 t	
Tolva de recepción	1	1 t	
Balanzas de rampa	1	1 t	
Cinta de elevación	1	1,5 t/h	3 kW
Cinta de clasificación	1	1,5 t/h	6 kW
Cinta de salida de material descarte	1	1 t/h	3 kW
Molino de plástico	1	350 kg/h	20 HP
Molino de vidrio	1	350 kg/h	20 HP
Prensa	1	1 t/h	15 HP

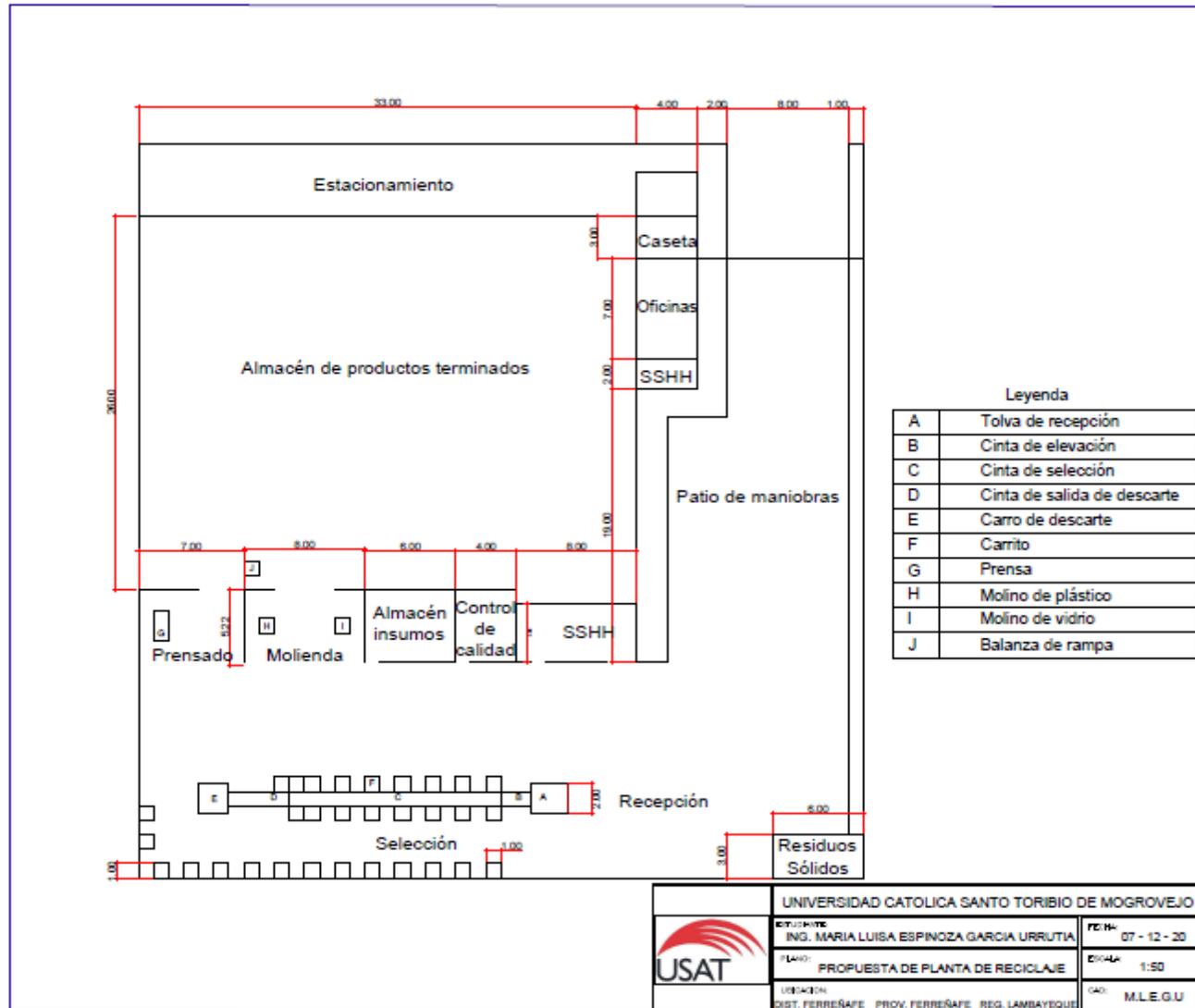
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la distribución de planta, dado el proceso propuesto, se requiere de mayor área de procesamiento, considerando las siguientes áreas: recepción, selección, prensado, molienda, almacén, administrativa, patio de maniobras, entre otras, sumando 2027 m<sup>2</sup>. En la tabla 26 se resumen las áreas, en el anexo 10 se detalla el cálculo. En la figura 35, se presenta el plano de la planta propuesta. Esta distribución se ha realizado priorizando el flujo del material, evitando largas distancias entre la selección y el área de prensado y molienda.

**Tabla 26. Áreas definidas de la planta de reciclaje**

Áreas	Medida (m <sup>2</sup> )
Recepción	120
Selección	260
Prensado	35
Molienda	40
Almacén de producto terminado	907
Almacén de insumos	30
Control de calidad	20
Patio de maniobras	313
Baños y vestuarios	32
Administrativas	28
SS. HH. administrativos	10
Residuos	15
Áreas Verdes	50
Estacionamiento	155
Caseta de vigilante	12
<b>Total</b>	<b>2027</b>

Fuente: Elaboración propia



**Figura 35. Plano de la planta de reciclaje propuesta**

Fuente: Elaboración propia

### **3.2.1.3. Opciones para venta de reciclaje**

El material procesado en pacas o molido puede tener dos opciones de venta a empresas operadoras de residuos sólidos o a plantas para su uso como materia prima directamente.

### **3.2.2. Desarrollo del modelo de logística inversa para la planta de reciclaje de la Provincia de Ferreñafe**

Se ha desarrollado el modelo mediante programación lineal para la planta de reciclaje de la Provincia de Ferreñafe.

El objetivo de este Modelo es hallar el punto de equilibrio, de las cantidades (en toneladas), de cada uno de los 17 insumos (material reciclable) que debe tener la planta para que su producción anual no se detenga. Esto le permitirá tener equilibrio, sostenibilidad y maximizar la utilidad que siempre se desea obtener.

El modelo se describe a continuación:

#### **1. Definición de variables**

- X1: Cantidad en toneladas anuales recogidas de PAPEL BLANCO.
- X2: Cantidad en toneladas anuales recogidas de PAPEL COLOR.
- X3: Cantidad en toneladas anuales recogidas de PERIÓDICO.
- X4: Cantidad en toneladas anuales recogidas de CARTÓN BLANCO.
- X5: Cantidad en toneladas anuales recogidas de CARTÓN MARRÓN.
- X6: Cantidad en toneladas anuales recogidas de MIXTO.
- X7: Cantidad en toneladas anuales recogidas de PET.
- X8: Cantidad en toneladas anuales recogidas de PEAD.
- X9: Cantidad en toneladas anuales recogidas de PEBD.
- X10: Cantidad en toneladas anuales recogidas de PP.
- X11: Cantidad en toneladas anuales recogidas de PS.
- X12: Cantidad en toneladas anuales recogidas de PVC.
- X13: Cantidad en toneladas anuales recogidas de VIDRIO INCOLORO.
- X14: Cantidad en toneladas anuales recogidas de VIDRIO COLOR.
- X15: Cantidad en toneladas anuales recogidas de LATAS - HOJALATAS.

X16: Cantidad en toneladas anuales recogidas de FIERRO.

X17: Cantidad en toneladas anuales recogidas de ALUMINIO.

## 2. Función objetivo

Maximizar la rentabilidad anual de la producción de material reciclable (en el tratamiento de residuos inorgánicos) en la planta de reciclaje.

De manera matemática se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Max } Z = 101X_1 + 80X_2 + 91X_3 + 31X_4 + 25X_5 + 10X_6 + 299X_7 + 400X_8 + 180X_9 + 175X_{10} + 160X_{11} + 280X_{12} + 99X_{13} + 50X_{14} + 171X_{15} + 150X_{16} + 280X_{17}$$

Para hallar los coeficientes de cada una de las variables se hizo el siguiente análisis:

$$\text{Aporte a la utilidad} = \text{ingreso} - \text{egreso}$$

Ejemplo: Cálculo de la Utilidad Unitaria por una tonelada de PAPEL BLANCO

$$\text{Utilidad} = \text{precio de venta} - \text{costo de producción}$$

$$101 = 500 - 399$$

De manera general se describe así:

$$\text{Utilidad unitaria por cada producto a reciclar} = \text{precio de venta} - (\text{costos fijos y variables})$$

## 3. Sujeta a los siguientes tipos de restricciones:

i) Demanda proyectada, aplicándole el axioma de elasticidad en que el valor de cada variable debe abastecer la demanda por lo que será igual o mayor al valor.

$$X_i \geq \text{demanda de cada tipo de material, } i = \text{tipo de material}$$

ii) Capacidad de almacenamiento, la sumatoria del volumen unitario de cada material por la cantidad de este debe ser menor igual al volumen de almacenamiento.

$$\sum X_i \cdot V_i \leq \text{volumen de almacenamiento}$$

iii) Capacidad adquisitiva, monto de dinero necesario para operar por cada tipo de material.

$$\sum X_i \cdot C_i \leq \text{capital de trabajo}$$

iv) Diferencia de demanda real entre algunos de los productos, tomando en cuenta los valores promedio de la recolección que se ha realizado hasta el momento por el programa en curso.

v) Rendimiento de maquinaria (Productos/Horas) condiciones de producción por t de producto, por tiempo y máquina.

vi) Rendimiento (Horas hombre)

vii) Restricción de no negatividad

$X1; X2; X3; X4; X5; X6; X7; X8; X9; X10; X11; X12; X13; X14; X15;$   
 $X16; X17 \geq 0$

La propuesta de aumentar el tipo de residuos sólidos aprovechables se basa en la logística inversa, que lo diferencia de la gestión de residuos sólidos. Esta propuesta además añade valor a los residuos acopiados, permitiendo la generación de puestos de trabajo, una mayor conciencia ambiental y la reducción de los gases de efecto invernadero en los botaderos.

Como menciona [8], la logística inversa interviene en la organización adecuada de los flujos de residuos y las infraestructuras. [20] menciona que la logística inversa relacionada con la gestión de desechos, si se incorpora plenamente, es una solución prometedora para los países en desarrollo. Una de las actividades que generan mayor potencial es el manejo innovador de ellos materiales. Pero también se requiere desarrollar un enfoque integrador en que los sectores públicos, privados y la comunidad puedan trabajar coordinadamente en soluciones locales que susciten la gestión sostenible de los residuos.

### 3.3. SIMULACIÓN DEL MODELO PROPUESTO

#### 3.3.1. Solución del modelo propuesto

Se utilizó el simulador TORA, con la finalidad de resolver el presente modelo, en las figuras 36, 37 y 38 se observan las capturas de pantalla. Los valores aplicados a cada restricción se incluyen en el anexo 11.



Figura 36. Captura 1 de pantalla de software TORA

Fuente: Elaboración propia



Figura 37. Captura 2 de pantalla de software TORA

Fuente: Elaboración propia

TORA C:\Users\HOME\Documents\TESIS MALU\MODELO DE PLANTA.txt

LINEAR PROGRAMMING

TORA Optimization System, Windows® version 1.00  
Copyright © 2000-2002 Henry A. Taha. All Rights Reserved.  
January, December 03, 2005 19:36

**SIMPLEX TABLEAU - (Two-Phase Method)**

Title: MODELO PARA PLANTA (Maximize)

Steps for generating NEXT tableaux from CURRENT one:  
1. ENTERING variable: Click a NONBASIC variable (if correct, column turns green)  
2. LEAVING variable: Click a BASIC variable (if correct, row turns red)  
3. Click command button NEXT ITERATION (or ALL ITERATIONS) -- This step may be executed without Steps 1 and/or 2.

	Next Iteration	All Iterations	Write to Printer	
x14	0.00	0.00	0.00	24.00
x15	0.00	0.00	0.00	146.00
x16	0.00	0.00	0.00	49.00
x17	0.00	0.00	0.00	0.70
Rx48	0.00	0.00	0.00	799.00
Rx49	0.00	0.00	0.00	1314.00
Rx50	0.00	0.00	0.00	861.00
Rx51	0.00	0.00	0.00	1234.00
Sx25	0.00	0.00	0.00	365.00
Rx53	0.00	0.00	0.00	1479.00
Rx54	0.00	0.00	0.00	984.00
x7	0.00	0.00	0.00	279.00
Rx56	1.00	0.00	0.00	1949.00
Rx57	0.00	1.00	0.00	1474.00
Rx58	0.00	0.00	1.00	543.00
Rx59	0.00	0.00	0.00	1583.30
x1	0.00	0.00	0.00	277.00

View/Modify Input Data    MAIN Menu    Exit TORA

**Figura 38. Captura 3 de pantalla de software TORA**

Fuente: Elaboración propia

El resultado del modelo matemático a condiciones dadas en el objetivo dos y según el reporte emitido por el TORA, se propone la siguiente decisión para el acopio, procesamiento y venta de los 17 tipos de residuos para obtener 12 220,30 soles anuales de utilidad, que es el valor de Z (ver figura 38), para el año 2030.

X1: 277 toneladas anuales de PAPEL BLANCO.

X2: 124 toneladas anuales de PAPEL COLOR.

X3: 501 toneladas anuales de PERIÓDICO.

X4: 129 toneladas anuales de CARTÓN BLANCO.

X5: 218 toneladas anuales de CARTÓN MARRÓN.

X6: 75 toneladas anuales de MIXTO.

X7: 279 toneladas anuales de PET.

X8: 264 toneladas anuales de PEAD.

X9: 142 toneladas anuales de PEBD.

X10: 32 toneladas anuales de PP.

X11: 12 toneladas anuales de PS.

X12: 15 toneladas anuales de PVC.

X13: 225 toneladas anuales de VIDRIO INCOLORO.

X14: 24 toneladas anuales de VIDRIO COLOR.

X15: 146 toneladas anuales de LATAS - HOJALATAS.

X16: 49 toneladas anuales de FIERRO.

X17: 0,70 toneladas anuales de ALUMINIO.

Asimismo, se realizó la sensibilización del modelo para obtener un resultado más cercano a la actualidad, tal como se muestra en las figuras 39, 40, 41.

TITLE: MODELO PARA PLANTA DE RECICLAJE (Maximize)

Steps for generating NEXT tableau from CURRENT one:

1. ENTERING variable: Click a NONBASIC variable (if correct, column turns green)
2. LEAVING variable: Click a BASIC variable (if correct, row turns red)
3. Click command button NEXT ITERATION (or ALL ITERATIONS) -- This step may be executed without Steps 1 and/or 2.

Basic	xx45	xx46	xx47	xx48	xx49	xx50	Solution
z (max)	0.00	0.00	-180.00	0.00	0.00	0.00	30797.00
xx21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	180.00
xx22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
xx23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00
xx24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.00
xx25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	180.00
xx26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	180.00
xx27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.00
xx28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00
xx29	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	3.00
x9	0.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	4.00
xx31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00
x12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00
xx33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00
xx34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00

Figura 39. Captura 1 de pantalla de software TORA para resultado actual

Fuente: Elaboración propia

TITLE: MODELO PARA PLANTA DE RECICLAJE (Maximize)

Steps for generating NEXT tableau from CURRENT one:

1. ENTERING variable: Click a NONBASIC variable (if correct, column turns green)
2. LEAVING variable: Click a BASIC variable (if correct, row turns red)
3. Click command button NEXT ITERATION (or ALL ITERATIONS) -- This step may be executed without Steps 1 and/or 2.

x17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
xx38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.00
xx39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.00
xx40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00
xx41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00
xx42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.00
x7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.00
x8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.00
xx45	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.00
xx46	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00
xx48	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	61.00
xx49	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	7.30
xx50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	20.00
Lower Bound							
Upper Bound							
Unrest'd (y/n)?							

Figura 40. Captura 2 de pantalla de software TORA para resultado actual

Fuente: Elaboración propia

TORA C:\Users\HOME\Documents\TESIS MALU\ESCENARIO ULTIMO 4.txt

LINEAR PROGRAMMING

TORA Optimization System, Windows® version 1.00  
Copyright © 2000-2022 Harold A. Taha. All Rights Reserved.  
written December 01, 2020 14:24

**SIMPLEX TABLEAU - (Two-Phase Method)**

Title: **MODELO PARA PLANTA DE RECICLAJE (Maximize)**

Steps for generating NEXT tableau from CURRENT one:

1. ENTERING variable: Click a NONBASIC variable (if correct, column turns green)
2. LEAVING variable: Click a BASIC variable (if correct, row turns red)
3. Click command button NEXT ITERATION (or ALL ITERATIONS) – This step may be executed without Steps 1 and/or 2.

Next Iteration All Iterations Write to Printer

x12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00
xx33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00
xx34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00
x15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00
x16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.00
x17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
xx38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.00
xx39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.00
xx40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00
xx41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00
xx42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.00
x7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.00
x8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.00
xx45	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.00
xx46	0.00	1.00	-1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00
xx48	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	61.00
z	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	7.25

View/Modify Input Data MAIN Menu Exit TORA

**Figura 41. Captura 3 de pantalla de software TORA para resultado actual**

El resultado del modelo matemático sensibilizado propone la siguiente decisión para el acopio, procesamiento y venta de los 13 tipos de residuos para obtener 30 797,0 soles anuales de utilidad, que es el valor de Z (ver figura 39), para el año 2022. Arroja un valor de cero para cartón mixto, PS, vidrio incoloro y vidrio color, por lo que no sería conveniente trabajar con estos residuos en los primeros años.

X1: 180 toneladas anuales de PAPEL BLANCO.

X2: 100 toneladas anuales de PAPEL COLOR.

X3: 10 toneladas anuales de PERIÓDICO.

X4: 80 toneladas anuales de CARTÓN BLANCO.

X5: 43 toneladas anuales de CARTÓN MARRÓN.

X6: 00 toneladas anuales de MIXTO.

X7: 27 toneladas anuales de PET.

X8: 22 toneladas anuales de PEAD.

X9: 4 toneladas anuales de PEBD.

X10: 10 toneladas anuales de PP.

X11: 00 toneladas anuales de PS.

X12: 12 toneladas anuales de PVC.

X13: 00 toneladas anuales de VIDRIO INCOLORO.

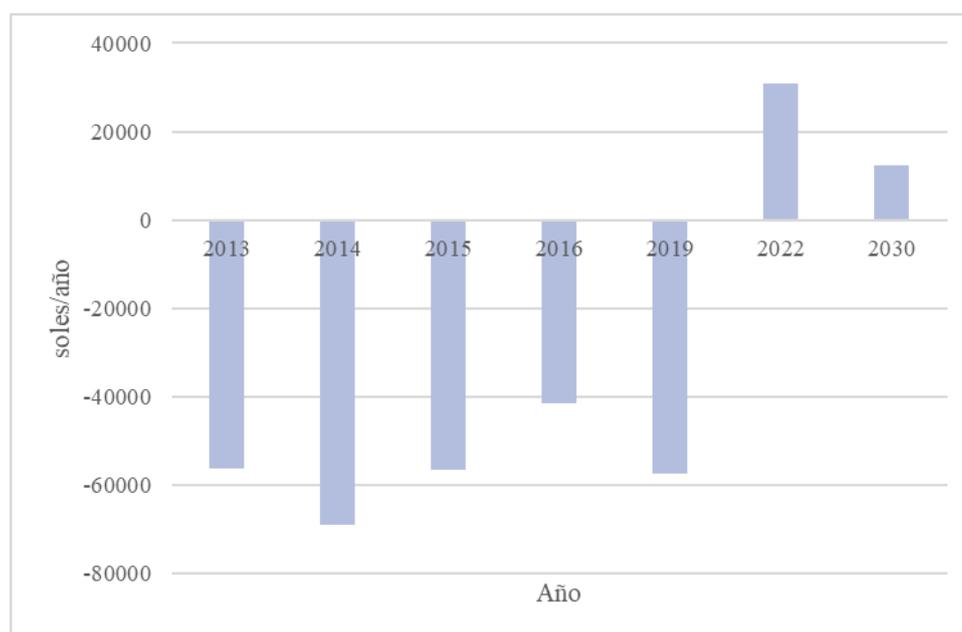
X14: 00 toneladas anuales de VIDRIO COLOR.

X15: 10 toneladas anuales de LATAS - HOJALATAS.

X16: 42 toneladas anuales de FIERRO.

X17: 0,30 toneladas anuales de ALUMINIO.

En la figura 40, se compara las utilidades que se vienen obteniendo en los años analizados 2013, 2014, 2015, 2016 y 2019, que se observan negativas. En el año 2022, con el modelo propuesto obtendremos una utilidad de 30 797,0 y para el 2030, 12 220,30 soles. Esto es lógico al trabajar con más residuos, los costos aumentan.



**Figura 42. Comparación utilidad actual con el modelo propuesto**

En el anexo 12, se presentan dos escenarios que requerían de una mayor zona de acopio, no solo de la provincia de Ferreñafe.

Es necesario que se haga un trabajo conjunto de todos los actores de esta cadena, empezando con los proveedores, es decir la población, cuya participación es un eje importante que soporta los flujos inversos. La sensibilización y capacitación es una constante a lo largo del tiempo y que tiene que ser reforzada por las autoridades, recolectores y las empresas proveedoras de los diversos productos terminados que formarán parte de los residuos a reciclar. Una forma de reforzar la capacitación, día a día, se realiza en la etapa de acopio, donde se le explica al poblador que material debe entregar al camión reciclador.

## CONCLUSIONES

1. La planta de reciclaje forma parte del Programa de segregación y recolección selectiva de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe. Menos del 1% de los residuos sólidos inorgánicos aprovechables han sido acopiados al año desde el inicio de las operaciones. La planta que actualmente atiende al programa presenta una serie de problemas, no cuenta con procesos que den valor agregado al residuo y tampoco tiene capacidad para tratar más residuo, originando pérdidas económicas y no tiene rentabilidad económica ni social.
2. El modelo propuesto presenta tres etapas: generación, planta de reciclaje y empresas que compran el material reciclado. Se plantea aprovechar, en el contexto de la logística inversa, diecisiete tipos de residuos, considerando que existe mercado para ello. Asimismo, se reconoce la importancia de un procesamiento primario como es la compactación, que reduce el espacio requerido para almacenamiento y transporte. Y en el caso del plástico PET y PEAD, así como de los vidrios, se reduce su tamaño mediante la molienda.
3. La simulación del modelo refuerza la decisión de acopiar, procesar y vender 17 tipos de residuos, arrojando una utilidad neta de 12 220 soles en el año 2030. Para los primeros años es recomendable trabajar con 13 tipos de residuos. Es necesario que se haga un trabajo conjunto de todos los actores de esta cadena, empezando con los proveedores, es decir la población, cuya participación es un eje importante que soporta los flujos inversos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio del Ambiente, «Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos de la Gestión del Ámbito Municipal y No Municipal 2013,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://redrrss.minam.gob.pe/material/20160328155703.pdf>. [Último acceso: 25 Setiembre 2017].
- [2] RPP, «¡Consumo responsable! Aprende a reciclar con esta guía básica,» 30 diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/peru/actualidad/consumo-responsable-aprende-a-reciclar-con-esta-guia-basica-noticia-1236972?ref=rpp>. [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [3] «Ley de Gestión Integral de Residuos sólidos.,» [En línea]. Available: Ley de Gestión Integral de Residuos sólidos. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-legislativo-que-aprueba-ley-gestion-integral-residuos-solidos..>
- [4] RPP, «Conoce cómo clasificar tu basura para reciclar,» 18 diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/peru/actualidad/como-debo-clasificar-mi-basura-para-reciclar-noticia-1235374?ref=rpp>. [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [5] Ley N°27972, «Ley Orgánica de Municipalidades,» 2003. [En línea]. Available: [chrome-extension://oe/http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/BCD316201CA9CDCA05258100005DBE7A/\\$FILE/1\\_2.Compendio-normativo-OT.pdf](chrome-extension://oe/http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/BCD316201CA9CDCA05258100005DBE7A/$FILE/1_2.Compendio-normativo-OT.pdf). [Último acceso: 2020].
- [6] Municipalidad Provincial de Ferreñafe, «Programa de Segregación en la fuente y Recolección Selectiva de residuos sólidos inorgánicos reciclables en el Distrito de Ferreñafe,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.muniferrenafe.gob.pe/images/descarga/NormasMunicipales/decretoalcaldia2019/da-n-005-2019-cmpf.pdf>. [Último acceso: 2020].
- [7] M. D. Rojas López, L. M. Jiménez Gómez y L. M. Jiménez Gómez, *Logística Inversa y Verde*, Bogotá: Ediciones de la U, 2014.
- [8] A. Mesjasz-Lech, «Reverse logistics of municipl solid waste - towards zero waste cities,» *Transportation Research Procedia*, vol. 39, pp. 320-332, 2019.
- [9] G. Ferri, G. Chavez y G. Ribeiro, «Reverse logistics network for municipal solid waste management: The inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement,» 23 febrero

2015. [En línea]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.036>. [Último acceso: 07 diciembre 2018].
- [10] F. Habibi, E. Asadi, S. Jafar Sadjadi y F. Barzinpour, «A multi-objective robust optimization model for site-selection and capacity allocation of municipal solid waste facilities: A case study in Tehran,» *Journal of Cleaner Production*, 2017.
- [11] J. D. Silva-Rodríguez, «Diseño de una red de logística inversa: caso de estudio Usocicamocha - Boyacá,» *Ingeniería y Ciencia*, vol. 13, n° 26, pp. 91-113, 2017.
- [12] S. Pouriani, E. Asadi-Gangraj y M. M. Paydar, «A robust bi-level optimization modelling approach for municipal solid waste management; a real case study of Iran,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 240, 2019.
- [13] D. Cabeza, *Logística Inversa en la Gestión de la Cadena de Suministro*, Barcelona: Marge Books, 2012.
- [14] A. M. Ramírez, «Nuevos beneficios de la logística inversa para empresas europeas y colombianas,» *Universidad & Empresa*, vol. 6, n° 12, pp. 48-61, 2007.
- [15] J. López Parada, «Incorporación de la Logística Inversa en la Cadena de Suministros y su influencia en la estructura organizativa de las empresas,» mayo 2010. [En línea]. Available: [https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1493/00.JLP\\_INDICE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1493/00.JLP_INDICE.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 15 noviembre 2020].
- [16] M. Martín y L. Mora, *Logística inversa y ambiental: retos y oportunidades en las organizaciones modernas*, Ecoe Ediciones, 2013.
- [17] A. Iglesias López, «Manual de logística inversa,» 2018. [En línea]. Available: <https://elibro.net/es/ereader/usat/123398>.
- [18] J. P. Antún, *Logística Inversa*, México: Serie Docencia 44, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 2004.
- [19] R. A. Gómez Montoya, «Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad,» *Producción + limpia*, vol. 5, n° 2, pp. 63-76, Julio - Diciembre 2010.
- [20] J. R. Kinobe, G. Gebresenbet y B. Vinneras, «Reverse Logistics Related to Waste Management with Emphasis on Developing Countries—A Review Paper,» *Journal of Environmental Science and Engineering*, pp. 1104-1118, 2012.

- [21] X. Bing, A. P. Barbosa-Povoa, C. Yew Wong, J. M. Bloemhof, T. R. P. Ramos y J. G. A. J. Van der Vorst, «Research Challenges in Municipal Solid Waste Logistics Management,» *Waste Management: International Journal of Integrated Waste Management*, n° 48, pp. 584-592., 2015.
- [22] M. Morillo, «Rentabilidad financiera y reducciión de costos,» *Actualidad Contable Faces*, vol. 4, n° 4, pp. 35-48, 2001.
- [23] O. Gutierrez Orejón, «Inversión pública y rentabilidad social a nivel de la Municipalidad Provincial de Huanta, periodo 2008-2013,» 2014. [En línea]. Available: [http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/1391/TM%20E27\\_Gut.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/1391/TM%20E27_Gut.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [24] Ministerio de Desarrollo Social. Gobierno de Chile, «Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales,» 2013. [En línea]. Available: [https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/8/52958/11\\_2MedioAmbiente\\_Valorizacion\\_de\\_residuos.pdf](https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/8/52958/11_2MedioAmbiente_Valorizacion_de_residuos.pdf). [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [25] Ministerio de Economía y Finanzas. Perú y Ministerio del Ambiente. Perú, «Guía para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de servicios de limpieza pública a nivel de perfil,» 2013. [En línea]. Available: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/normas/normasv/snip/a2013/Guia\\_SNIP\\_en\\_el\\_servicio\\_de\\_limpieza\\_publica.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/snip/a2013/Guia_SNIP_en_el_servicio_de_limpieza_publica.pdf). [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [26] Ministerio de Economía y Finanzas - Perú y Ministerio del Ambiente- Perú, «Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil,» 2008. [En línea]. Available: <http://smia.munlima.gob.pe/uploads/documento/ec0bc25278706d7d.pdf>. [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [27] P. C. P. W. Rebehy, S. Andrade dos Santos Lima, J. C. Novi y A. P. Salgado, «Reverse logistics systems in Brazil: Comparative study and interest of multistakeholders,» *Journal of Environmental Management*, vol. 250, 2019.
- [28] RPP, «Conoce el proceso de reciclaje de la planta más grande del Perú,» 10 enero 2020. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/peru/actualidad/fotos-conoce-el-proceso-de-reciclaje-de-la-planta-mas-grande-del-peru-noticia-1238853?ref=rpp>. [Último acceso: 20 noviembre 2020].

- [29] P. Zarate, «Planta de Reciclaje en Arequipa, primera especializada en plástico,» 16 diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://elbuho.pe/2019/12/planta-de-reciclaje-en-arequipa-es-la-primera-a-nivel-nacional-especializada-en-plastico/>. [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [30] RECYTRANS, «Funcionamiento de una planta de clasificación de residuos,» 4 julio 2013. [En línea]. Available: <https://www.recytrans.com/blog/funcionamiento-de-una-planta-de-clasificacion-de-residuos/>. [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [31] Ministerio del Ambiente, «Aprende a prevenir los efectos del mercurio. Módulo 2: Residuos y áreas verdes,» diciembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>. [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [32] «Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos,» 2017. [En línea]. Available: [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds\\_014-2017-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf).
- [33] INACAL, «Gestión de residuos. Código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos,» Lima, 2019.
- [34] Ministerio del Ambiente, «Minam: 70% de los residuos que generamos pueden convertirse en nuevos productos,» 15 setiembre 2019. [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/minam-70-residuos-que-generamos-pueden-convertirse-nuevos-productos>. [Último acceso: 20 noviembre 2020].
- [35] V. M. Niño Rojas, Metodología de la Investigación: diseño y ejecución, Bogotá: Ediciones de la U, 2011.
- [36] D. S. Behar Rivero, «Metodología de la Investigación,» 2008. [En línea]. Available: <http://rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>. [Último acceso: 21 noviembre 2020].
- [37] B. E. Martínez Ocaña y N. Céspedes Cornejo, Metodología de la Investigación, San Isidro: Libro Amigo, 2008.
- [38] I. Córdova Baldeón, El Proyecto de Investigación Cuantitativa, Lima: San Marcos E. I. R. L., 2012.
- [39] Municipalidad Provincial de Ferreñafe, «Plan de desarrollo urbano Municipalidad Provincial de Ferreñafe,» 2013. [En línea]. Available:

- <http://www.muniferrenafe.gob.pe/descargas/PDU/Diagnostico/PDU-FERRENAFE2013-2023.pdf>. [Último acceso: 20 enero 2020].
- [40] Municipalidad Provincial de Ferreñafe, «Plan de Desarrollo Concertado Provincial de Ferreñafe al 2021,» mayo 2012. [En línea]. Available: <http://www.muniferrenafe.gob.pe/anuncios/pdc2012/pdc2012.pdf>. [Último acceso: 12 12 2019].
- [41] Instituto Nacional de Estadística e Informática, «Lambayeque, Resultados Definitivos,» octubre 2018. [En línea]. Available: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1560/14T\\_OMO\\_01.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1560/14T_OMO_01.pdf). [Último acceso: 7 octubre 2020].
- [42] Municipalidad Provincial de Ferreñafe, «Municipalidad Provincial de Ferreñafe,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.muniferrenafe.gob.pe/index.php/municipalidad/mision-vision-y-objetivos.html>. [Último acceso: 20 enero 2020].
- [43] Municipalidad Provincial de Ferreñafe, Estudio de caracterización de residuos municipales de la provincia de Ferreñafe-distrito de Ferreñafe 2019, Ferreñafe, 2019.
- [44] Ministerio de Economía y Finanzas y Ministerio del Ambiente, «Guía para la Elaboración de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil,» 2008. [En línea]. Available: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/normas/normasv/snip/a2013/Guia\\_SNIP\\_en\\_el\\_servicio\\_de\\_limpieza\\_publica.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/snip/a2013/Guia_SNIP_en_el_servicio_de_limpieza_publica.pdf). [Último acceso: 23 noviembre 2020].
- [45] Ministerio del Ambiente, «SIGERSOL,» Ministerio del Ambiente, 2015. [En línea]. Available: <https://sigersol.minam.gob.pe/2015/menu.php#>. [Último acceso: 22 noviembre 2020].
- [46] Municipalidad Provincial de Ferreñafe, «Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos,» Ferreñafe, 2014.
- [47] Fundación Labein, «Guía técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las Emisiones al Aire,» IHOBE - Sociedad Pública de gestión Ambiental, País Vasco, 2005.
- [48] Municipalidad Provincial de Ferreñafe, «Informe N° 023-2014-MPF/CPIMGMM,» Ferreñafe, 2014.
- [49] Ministerio de Economía y Finanzas, «Implementación de un sistema integrado de manejo de residuos sólidos municipales,» 2020. [En línea]. Available:

- [https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu\\_publ/anexos/Anexo\\_Meta3\\_Cuadro\\_de\\_actividades.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_publ/anexos/Anexo_Meta3_Cuadro_de_actividades.pdf). [Último acceso: 25 noviembre 2020].
- [50] Mis trámites y requisitos, «Conoce como hacer el cálculo de Planilla de Remuneraciones,» 2020. [En línea]. Available: <https://mistramitesyrequisitos.com/peru/planilla-de-remuneraciones/>. [Último acceso: 25 noviembre 2020].
- [51] Ministerio Del Ambiente, «GUÍA PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA MET 3,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos-descarga/Guia\\_Meta\\_3\\_RD004\\_2020EF5001.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/archivos-descarga/Guia_Meta_3_RD004_2020EF5001.pdf). [Último acceso: 25 noviembre 2020].
- [52] «COMERCIALIZADORA EXPORTADORA INBC S.R.L,» [En línea]. Available: <https://www.datosperu.org/empresa-comercializadora-exportadora-inbc-srl-20480109971.php>. [Último acceso: 26 noviembre 2020].
- [53] «RecyClean,» 2020. [En línea]. Available: <https://recycleanperu.com/>. [Último acceso: 26 noviembre 2020].
- [54] «ECOCLOBO,» [En línea]. Available: <https://ecoglobo.com.pe/manejo-integral-de-residuos-solidos/>. [Último acceso: 26 noviembre 2020].
- [55] H. Glynn y G. Heinke, Ingeniería ambiental., México: Prentice Hall, 1999.
- [56] Ecoembes, «Especificaciones técnicas para materiales recuperados (ETMR),» [En línea]. Available: [https://www.ecoembes.com/sites/default/files/etmr\\_def\\_v12\\_0.pdf](https://www.ecoembes.com/sites/default/files/etmr_def_v12_0.pdf). [Último acceso: 23 noviembre 2020].
- [57] CEDEX, «Vidrio reciclado,» noviembre 2015. [En línea]. Available: [http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es\\_VIDRIORECICLADONOV2016.pdf](http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_VIDRIORECICLADONOV2016.pdf). [Último acceso: 24 noviembre 2020].

## ANEXOS

### Anexo 1. Guía de entrevista

Nombre completo: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

Área: \_\_\_\_\_

1. ¿Cuánto tiempo viene operando la Planta de Reciclaje de la Municipalidad Provincial de Ferreñafe?

\_\_\_\_\_

2. ¿Cuántos trabajadores (obreros, administrativos, ingenieros, etc.) laboran en la planta de reciclaje? ¿Son trabajadores estables?

\_\_\_\_\_

3. ¿Cómo se realiza la admisión de personal a la Planta de Reciclaje?

\_\_\_\_\_

4. ¿Existen perfiles de puesto para los trabajadores de la planta de reciclaje?

\_\_\_\_\_

5. ¿Qué funciones desempeñan estos trabajadores en la Planta de Reciclaje?

\_\_\_\_\_

6. ¿Realizan otras funciones fuera de la planta de reciclaje?

\_\_\_\_\_

7. ¿Los trabajadores reciben capacitación para realizar su trabajo en la planta de Reciclaje?

a) No

b) Sí

¿Con qué frecuencia reciben capacitación?

\_\_\_\_\_

¿Cuáles fueron los temas tratados en la capacitación?

\_\_\_\_\_

¿Cuántas horas ha recibido capacitación?

\_\_\_\_\_

¿Quién realizó las capacitaciones?

\_\_\_\_\_

8. ¿Se cuenta con un organigrama para la planta de reciclaje?

\_\_\_\_\_

9. ¿Quién está a cargo de la planta de reciclaje?

\_\_\_\_\_

10. ¿Qué procesos se realizan en la Planta de Reciclaje? Se han identificado los procesos?

---

---

11. ¿Existe un manual de procedimientos de la Planta de Reciclaje?

---

12. ¿Existe un plan de producción de la Planta de Reciclaje?

---

13. ¿Quién supervisa el trabajo en la Planta de Reciclaje?

---

14. ¿Qué equipos o herramientas se utilizan para desarrollar el trabajo en la Planta de Reciclaje?

---

15. ¿Se han presentado desperfectos o paradas por fallos en los equipos o herramientas usados en la Planta de Reciclaje?

a) No

b) Sí ¿Con qué frecuencia? \_\_\_\_\_

16. ¿Se entrega equipo de protección personal?

a) No

b) Sí Mencione cuáles: \_\_\_\_\_

---

17. ¿Existe un plan de mantenimiento para la motofurgoneta?

---

18. ¿Cuál es el periodo más largo en que la motofurgoneta ha permanecido fuera de uso, esperando mantenimiento correctivo? ¿Cada cuánto se presenta esta situación?

---

19. ¿qué se hace con el material recolectado y seleccionado?

---

20. ¿Se ha determinado la rentabilidad de la Planta de reciclaje?

---

21. ¿Cuál cree que sea el factor o los factores que puedan afectar a la rentabilidad de la planta de reciclaje?

22. Se ha pensado en ampliar las operaciones de la planta de reciclaje.

**Anexo 2. Generación de residuos aprovechables inorgánicos domiciliarios y no domiciliarios: tipo papel**

Año	RSD (t/año)				RS no D (t/año)				Total (t/año)			
	Papel (10,77 %)	Papel blanco (3,40 %)	Papel color (0,99 %)	Periódico (6,38%)	Papel (2,65%)	Papel blanco (0,61%)	Papel color (1,49 %)	Periódico (0,55%)	Papel	Papel blanco	Papel color	Periódico
2021	807	255	74	478	85,1	19,6	47,9	17,7	892	274	122	496
2022	808	255	74	479	85,2	19,6	47,9	17,7	893	275	122	496
2023	809	255	74	479	85,3	19,6	48,0	17,7	894	275	122	497
2024	810	256	74	480	85,4	19,7	48,0	17,7	895	275	122	497
2025	810	256	74	480	85,5	19,7	48,0	17,7	896	276	123	498
2026	811	256	75	481	85,5	19,7	48,1	17,8	897	276	123	498
2027	812	256	75	481	85,6	19,7	48,1	17,8	898	276	123	499
2028	813	257	75	482	85,7	19,7	48,2	17,8	899	276	123	499
2029	814	257	75	482	85,8	19,7	48,2	17,8	899	277	123	500
2030	814	257	75	482	85,9	19,8	48,3	17,8	900	277	123	500

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 3. Generación de residuos aprovechables inorgánicos domiciliarios y no domiciliarios: tipo cartón**

Año	RSD (t/año)				RS no D (t/año)				Total (t/año)			
	Cartón (4,41 %)	Cartón blanco (1,70%)	Cartón marrón (1,82%)	Mixto (0,89%)	Cartón (2,69 %)	Cartón blanco (0%)	Cartón marrón (2,46%)	Mixto (0,23%)	Cartón	Cartón blanco	Cartón marrón	Mixto
2021	331	127	136	67	86	0	79	7	417	127	215	74
2022	331	128	137	67	86	0	79	7	417	128	216	74
2023	331	128	137	67	87	0	79	7	418	128	216	74
2024	331	128	137	67	87	0	79	7	418	128	216	74
2025	332	128	137	67	87	0	79	7	419	128	216	74
2026	332	128	137	67	87	0	79	7	419	128	216	74
2027	332	128	137	67	87	0	79	7	419	128	217	75
2028	333	128	137	67	87	0	80	7	420	128	217	75
2029	333	128	137	67	87	0	80	7	420	128	217	75
2030	333	129	138	67	87	0	80	7	421	129	217	75

Fuente: Elaboración propia

#### Anexo 4. Generación de residuos aprovechables inorgánicos domiciliarios y no domiciliarios: tipo plástico

Año	RSD (t/año)						RS no D (t/año)						Total (t/año)								
	Plástico 8,45 %	PET 3,08%	PEAD 3,22%	PEBD 1,76%	PP 0,2%	PS 0,09%	PVC 0,1%	Plástico 3,15 %	PET 1,42%	PEAD 0,61%	PEBD 0,26%	PP 0,52%	PS 0,13%	PVC 0,21%	Plástico	PET	PE AD	PEB D	PP	PS	PV C
2021	633	231	241	132	15	7	7	101	46	20	8	17	4	7	734	276	261	140	32	11	14
2022	634	231	242	132	15	7	8	101	46	20	8	17	4	7	735	277	261	140	32	11	14
2023	635	231	242	132	15	7	8	101	46	20	8	17	4	7	736	277	261	141	32	11	14
2024	635	232	242	132	15	7	8	101	46	20	8	17	4	7	737	277	262	141	32	11	14
2025	636	232	242	132	15	7	8	102	46	20	8	17	4	7	737	278	262	141	32	11	14
2026	636	232	243	133	15	7	8	102	46	20	8	17	4	7	738	278	262	141	32	11	14
2027	637	232	243	133	15	7	8	102	46	20	8	17	4	7	739	278	262	141	32	11	14
2028	638	232	243	133	15	7	8	102	46	20	8	17	4	7	740	278	263	141	32	11	14
2029	638	233	243	133	15	7	8	102	46	20	8	17	4	7	740	279	263	141	32	11	14
2030	639	233	244	133	15	7	8	102	46	20	8	17	4	7	741	279	263	142	32	11	14

Elaboración propia

#### Anexo 5. Generación de residuos aprovechables inorgánicos domiciliarios y no domiciliarios: tipo vidrio

Año	RSD (t/año)				RS no D (t/año)				Total (t/año)			
	Vidrio 2,89%	Botella Incolora 2,71%	Botella Color 0,12%	Otros 0,06%	Vidrio 1,14%	Botella Incolora 0,60	Botella Color 0,44%	Otros 0,10	Vidrio	Botella Incolora	Botella Color	Otros
2021	217	203	9	4	37	19	14	3	253	222	23	8
2022	217	203	9	5	37	19	14	3	253	223	23	8
2023	217	204	9	5	37	19	14	3	254	223	23	8
2024	217	204	9	5	37	19	14	3	254	223	23	8
2025	217	204	9	5	37	19	14	3	254	223	23	8
2026	218	204	9	5	37	19	14	3	254	223	23	8
2027	218	204	9	5	37	19	14	3	255	224	23	8
2028	218	205	9	5	37	19	14	3	255	224	23	8
2029	218	205	9	5	37	19	14	3	255	224	23	8
2030	219	205	9	5	37	19	14	3	255	224	23	8

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 6. Generación de residuos aprovechables inorgánicos domiciliarios y no domiciliarios: tipo metal**

Año	RSD (t/año)				RS no D (t/año)			Total (t/año)				
	Metales 2,25%	Latas- hojalata 1,58%	Fierro 0,64%	Otros 0,03%	Metales 0,81%	Latas- hojalata 0,79%	Aluminio 0,02%	Metales	Latas- hojalata	Fierro	Aluminio	Otros
2021	168,6	118,4	48,0	2,2	26,02	25,37	0,64	195	144	48	1	2
2022	168,8	118,5	48,0	2,3	26,04	25,40	0,64	195	144	48	1	2
2023	169,0	118,6	48,1	2,3	26,07	25,42	0,64	195	144	48	1	2
2024	169,1	118,8	48,1	2,3	26,09	25,45	0,64	195	144	48	1	2
2025	169,3	118,9	48,2	2,3	26,12	25,48	0,64	195	144	48	1	2
2026	169,5	119,0	48,2	2,3	26,15	25,50	0,65	196	145	48	1	2
2027	169,6	119,1	48,3	2,3	26,17	25,53	0,65	196	145	48	1	2
2028	169,8	119,2	48,3	2,3	26,20	25,55	0,65	196	145	48	1	2
2029	170,0	119,4	48,3	2,3	26,23	25,58	0,65	196	145	48	1	2
2030	170,1	119,5	48,4	2,3	26,25	25,60	0,65	196	145	48	1	2

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 7. Densidades de residuos según su material, sin compactar [55]**

Componentes	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>
Papel, cartón, plásticos	80
Residuos de alimentos	300
Escombros diversos <sup>b</sup>	160
Cenizas, polvo, ladrillo, metal ferroso	480
Residuos sólidos municipales	150
Las categorías amplias antes indicadas incluyen plástico, metales no ferrosos, envases de lata, residuos de jardín. Cuando estos componentes se recolectan por separado, los pesos específicos son los siguientes:	
Plástico	65
Aluminio	160
Envases de lata	90
Residuos de jardín	100

a. La densidad real puede variar hasta en un 50% respecto a los valores representativos que se muestra, de acuerdo con la naturaleza de los componentes y su contenido de humedad.

b. Los escombros diversos incluyen vidrio, metal no ferroso, madera, caucho, cuero y textiles.

Fuente: Glynn y Heinke, 1999:572

**Anexo 8. Densidades de residuos según su material, compactado o molido [56]**

Material	Densidad de residuo procesado (kg/m <sup>3</sup> )
Papel blanco compactado	400
Papel color compactado	400
Periódico compactado	400
Cartón blanco compactado	400
Cartón marrón compactado	400
Mixto compactado	400
PET picado	350
PEAD picado	600
PEBD compactado	250
PP compactado	250
PS compactado	250
PVC compactado	250
Vidrio incoloro picado	1120
Vidrio color picado [57]	1120
Latas-hojalata compactada	800
Fierro compactado	800
Aluminio compactado	500

Fuente: ECOEMBES, CEDEX

## Anexo 9. Características de la tecnología

Equipo	Ficha técnica
<p><b>Balanza de Rampa</b></p>  <p>Fuente: <a href="http://www.alexsbalanzas.com/es/Balanza-de-Piso/">http://www.alexsbalanzas.com/es/Balanza-de-Piso/</a></p>	<p>Material: plancha de acero estriada y acabado en pintura epóxica anticorrosiva.</p> <p>Tamaño de plataforma: 1,20 x 1,20 m.</p> <p>La capacidad y graduación: 1000 kg +/- 200 g</p> <p>Para ser usada a nivel de piso o empotrada en fosa.</p> <p>Función: Para pesar las pacas de cartón, papel, plástico y metal, así como los big bag de hojuelas de plástico y vidrio molido.</p>
<p><b>Camión Baranda</b></p>  <p>Fuente: <a href="https://www.mitsuiautomotriz.com/obtener/camiones-hino/detalle/dutro-148hp">https://www.mitsuiautomotriz.com/obtener/camiones-hino/detalle/dutro-148hp</a></p>	<p>Capacidad: 20 m<sup>3</sup></p> <p>Marca: Hino</p> <p>Longitud: 6,735 m</p> <p>Ancho: 1,995 m</p> <p>Alto: 2,24 m</p> <p>Función: Recolección selectiva de residuos sólidos</p>
<p><b>Montacarga</b></p>  <p>Fuente: <a href="http://es.ssemachines.com/1500-2500kg-diesel-forklift-15724227428618176.html">http://es.ssemachines.com/1500-2500kg-diesel-forklift-15724227428618176.html</a></p>	<p>Modelo: Xinchai C490</p> <p>Capacidad nominal: 2500 kg</p> <p>Longitud total: 2,540 m</p> <p>Ancho total: 1,160 m</p> <p>Altura total: 2,060 m</p> <p>Función: Traslado de materiales empacados y envasados desde la zona de producción al almacén. Traslado de productos desde almacén a camiones para venta.</p>

Equipo	Ficha técnica
<p><b>Tolva de recepción</b></p>  <p>Fuente: <a href="http://www.desarrollosindustriales.com/index.php/es/plantas-pequenas">http://www.desarrollosindustriales.com/index.php/es/plantas-pequenas</a></p>	<p>Material: Acero con acabado en pintura epóxica anticorrosiva.  Ancho: 2 m  Largo: 2,5 m  Para ser usada a nivel de piso, empotrada en fosa.</p> <p>Función: Recibir la descarga de residuos sólidos.</p>
<p><b>Cinta de elevación</b></p>  <p>Fuente: <a href="http://www.desarrollosindustriales.com/index.php/es/plantas-pequenas">http://www.desarrollosindustriales.com/index.php/es/plantas-pequenas</a></p>	<p>Material: Estructura de acero con acabado en pintura epóxica anticorrosiva. Faja de caucho  Inclinación: 45°  Capacidad: 1 t/h  Ancho: 1 m  Largo: 4 m  Potencia: 3 kW  Para ser acoplada con la tolva de recepción.  Función: Alimentar a la cinta de selección</p>
<p><b>Cinta de clasificación</b></p>  <p>Fuente: <a href="http://www.desarrollosindustriales.com/index.php/es/plantas-pequenas">http://www.desarrollosindustriales.com/index.php/es/plantas-pequenas</a></p>	<p>Material: Estructura de acero con acabado en pintura epóxica anticorrosiva. Faja de caucho  Ancho: 1 m  Largo: 14 m  Potencia: 6 kW  Capacidad: 1 t/h</p> <p>Para ser acoplada con la cinta de selección.  Función: Acarrea el material para su segregación por parte de los operarios.</p>
<p><b>Cinta de salida de material descarte</b></p>  <p>Fuente: <a href="http://www.desarrollosindustriales.com/index.php/es/plantas-pequenas">http://www.desarrollosindustriales.com/index.php/es/plantas-pequenas</a></p>	<p>Material: Estructura de acero con acabado en pintura epóxica anticorrosiva. Faja de caucho  Inclinación: 45°</p> <p>Ancho: 1 m  Largo: 4 m  Potencia: 3 kW</p> <p>Para ser acoplada con la tolva de recepción.  Función: Acarreo de descarte.</p>

Equipo	Ficha técnica
<p><b>Molino para plásticos</b></p>  <p>Fuente: Recycletech</p>	<p>Marca: Recycletech Perú</p> <p>Capacidad: 350 kg/h</p> <p>Potencia 20 HP</p> <p>Longitud total: 1 m</p> <p>Ancho: 0,8 m</p> <p>Alto: 2,10 m</p> <p>Función: Triturar plástico PET y PEAD</p>
<p><b>Molino para vidrio</b></p>  <p>Fuente: <a href="https://spanish.alibaba.com/product-detail/small-size-hammer-mill-crusher-for-crushing-glass-bottle-0808759974.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.2.29bb426d5KDFki">https://spanish.alibaba.com/product-detail/small-size-hammer-mill-crusher-for-crushing-glass-bottle-0808759974.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.2.29bb426d5KDFki</a></p>	<p>Capacidad: 200 kg/h</p> <p>Longitud: 1,2 m</p> <p>Ancho: 0,6 m</p> <p>Alto: 1 m</p> <p>Potencia: 4 kW</p> <p>Función: Triturar vidrio</p>
<p><b>Prensa hidráulica</b></p>  <p>Fuente: <a href="http://www.cerviplast-peru.com/maquinas/maquina-prensa-hidraulica/">http://www.cerviplast-peru.com/maquinas/maquina-prensa-hidraulica/</a></p>	<p>Marca: CERVIPLAST</p> <p>Capacidad nominal: 2500 kg</p> <p>Longitud total: .1 m</p> <p>Ancho: 1,2 m</p> <p>Altura total: 2,3 m</p> <p>Potencia: 15 HP</p> <p>Función: Prensado de cartón, papel, plásticos y metales.</p>

## Anexo 10. Cálculo de las áreas de producción y almacén

### ÁREA DE RECEPCIÓN

FIJOS O ESTÁTICOS	Cantidad	N	Diámetro	L	A	H	S.S	S.S.n	S.S.n.H	S.G.	k	Se: k(S.S+S.G)	S.T: n*(S.S+SG+SE.)
Tolva	1	1		2,5	2	0,49	5	5	2,45	5	2,23	22,25	32,25
Camión Baranda	1	1		6,735	1,995	2,24	13,44	13,44	30,10	13,44	2,23	59,80	86,67
												Total	120

Fuente: Elaboración propia

### ÁREA DE SELECCIÓN

FIJOS O ESTÁTICOS	Cantidad	N	Diámetro	L	A	H	S.S	S.S.n	S.S.n.H	S.G.	k	Se: k(S.S+S.G)	S.T: n*(S.S+SG+SE.)
Cinta de elevación	1	3		2	1	2,83	2	2	5,66	6	0,49	3,96	11,96
Cinta transportadora	1	3		14	1	0,8	14	14	11,2	42	0,49	27,71	83,71
Cinta de salida de material de descarte	1	3		2	1	3	2	2	6	6	0,49	3,96	11,96
Carritos	34	4		0,8	0,6	0,8	0,48	16,32	13,06	1,92	0,49	1,19	121,97
Carro de descarte	1	4		2	2	1,5	4	4	6	16	0,49	9,90	29,90
												Total	260

Fuente: Elaboración propia

### ÁREA DE PRENSADO

FIJOS O ESTÁTICOS	Cantidad	N	Diámetro	L	A	H	S.S	S.S.n	S.S.n.H	S.G.	k	Se: k(S.S+S.G)	S.T: n*(S.S+SG+SE.)
Prensa	1	1		2	1,2	2,3	2,4	2,4	5,52	2,40	0,34	1,65	6,45
Carritos	5	4		0,8	0,6	0,8	0,48	2,4	1,92	1,92	0,34	0,82	16,12
Paca	1	4		0,8	0,6	0,7	0,48	0,48	0,34	1,92	0,34	0,82	3,22
Montacarga	1	1		2,54	1,16	2,06	2,95	2,95	6,07	2,95	0,34	2,02	7,91
												Total	35

Fuente: Elaboración propia

**ÁREA DE MOLIENDA**

FIJOS O ESTÁTICOS	Cantidad	N	L	A	H	S.S	S.S.n	S.S.n.H	S.G.	k	Se: k(S.S+S.G)	S.T: n*(S.S+SG+SE.)
Molino para plásticos	1	2	1	0,8	2,1	0,8	0,8	1,68	1,6	0,38	0,90	3,30
Molino para vidrio	1	2	1,2	0,6	1	0,72	0,72	0,72	1,44	0,38	0,81	2,97
Pallet - big bag	1	2	1,2	1,2	1,2	1,44	1,44	1,73	2,88	0,38	1,62	5,94
Carritos	5	4	0,8	0,6	0,8	0,48	2,4	1,92	1,92	0,38	0,90	16,51
Montacarga	1	2	2,54	1,16	2,06	2,95	2,95	6,07	5,89	0,38	3,32	12,16
											Total	40,000

Fuente: Elaboración propia

**ÁREA DE ALMACÉN**

FIJOS O ESTÁTICOS	Cantidad	N	L	A	H	S.S	S.S.n	S.S.n.H	S.G.	k	Se: k(S.S+S.G)	S.T: n*(S.S+SG+SE.)
Balanza de rampa	1	2	1,2	1,2	0,1	1,44	1,44	0,14	2,88	0,33	1,45	5,77
Pacas	236	3	0,8	0,6	2,8	0,48	113,28	317,18	1,44	0,33	0,64	604,90
Big bag	50	2	1,2	1,2	3,2	1,44	72,00	230,40	2,88	0,33	1,45	288,35
Montacarga	1	1	2,54	1,16	2,06	2,95	2,95	6,07	2,95	0,33	1,97	7,87
											Total	907

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 11. Datos alimentados para la simulación

### i) Demanda proyecta por tipo de residuo en t/año

Año	Papel blanco	Papel color	Periódico	Cartón blanco	Cartón marrón	Mixto	PET	PEAD	PEBD	PP	PS	PVC	Vidrio incoloro	Vidrio color	Latas-hojalata	Fierro	Aluminio
2021	274,40	122,05	495,81	127,41	215,41	74,09	276,44	260,91	140,25	31,69	10,92	14,24	222,37	23,13	143,79	47,96	0,64
2022	274,68	122,17	496,31	127,53	215,63	74,16	276,72	261,18	140,39	31,72	10,93	14,25	222,59	23,15	143,93	48,01	0,64
2023	274,95	122,30	496,80	127,66	215,84	74,24	276,99	261,44	140,53	31,75	10,94	14,27	222,82	23,17	144,07	48,06	0,64
2024	275,23	122,42	497,30	127,79	216,06	74,31	277,27	261,70	140,67	31,79	10,95	14,28	223,04	23,20	144,22	48,11	0,64
2025	275,50	122,54	497,80	127,92	216,28	74,38	277,55	261,96	140,82	31,82	10,96	14,30	223,26	23,22	144,36	48,16	0,64
2026	275,78	122,66	498,30	128,04	216,49	74,46	277,82	262,22	140,96	31,85	10,98	14,31	223,49	23,24	144,51	48,20	0,65
2027	276,06	122,79	498,79	128,17	216,71	74,53	278,10	262,48	141,10	31,88	10,99	14,33	223,71	23,26	144,65	48,25	0,65
2028	276,33	122,91	499,29	128,30	216,92	74,61	278,38	262,75	141,24	31,91	11,00	14,34	223,93	23,29	144,80	48,30	0,65
2029	276,61	123,03	499,79	128,43	217,14	74,68	278,66	263,01	141,38	31,95	11,01	14,35	224,16	23,31	144,94	48,35	0,65
2030	276,88	123,16	500,29	128,56	217,36	74,76	278,94	263,27	141,52	31,98	11,02	14,37	224,38	23,33	145,09	48,40	0,65

Fuente: Elaboración propia

### ii) Capacidad de almacenamiento

Material	Papel blanco	Papel color	Periódico	Cartón blanco	Cartón marrón	Mixto	PET	PEAD	PEBD	PP	PS	PVC	Vidrio incoloro	Vidrio color	Latas-hojalata	Fierro	Aluminio
Volumen unitario sin compactar (m <sup>3</sup> /kg)	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,006	0,006	0,011	0,002	0,006
Volumen unitario luego de procesar (m <sup>3</sup> /kg)	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,50E-03	2,86E-03	1,67E-03	4,00E-03	4,00E-03	4,00E-03	4,00E-03	8,93E-04	8,93E-04	1,25E-03	1,25E-03	2,00E-03

Fuente: Elaboración propia

### iii) Capacidad adquisitiva

Capacidad de planta (2030)	2503	t/año
Días de trabajo al año	288	días
Días de trabajo al mes	24	días
Capacidad de planta (2030)	8,694	t de residuo aprovechable/día
Capacidad de planta (2030)	208,656	t de residuo aprovechable/mes

Ítem	Valor	unidades
Costo de mano de obra indirecta	202 618	soles/ año
Costo de mano de obra directa	484 823,88	soles/ año
Costo de acero para embalar pacas	50772	soles/ año
Costo de sacos para material molido	14412	soles/ año
Costo de combustible	8315,25	soles/ año
Costo de luz	111894,43	soles/ año
Costo de EPP	14484	soles/ año
Costo de mantenimiento	31929,6	soles/ año
Costo de eliminación del descarte	39389,76	soles/ año
Costo de agua y desague	33440,40	soles/ año
Gastos de comercialización	21600	soles/ año
Gastos administrativos	4447,2	soles/ año
Total	1 018 127	soles/ año

Fuente: Elaboración propia

### iv) Demanda diferenciada

Variable	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17
Material	Papel blanco	Papel color	Periódico	Cartón blanco	Cartón marrón	Mixto	PET	PEAD	PEBD	PP	PS	PVC	Vidrio incoloro	Vidrio color	Lata s-hojalata	Fierro	Aluminio

X4 +x5+x6-x7=	1500					x8-x9=	1880			x9-x11=	0						
X4 +x5+x6-x8=	2000					x8-x11=	1880			x11-x12=	0						
X4 +x5+x6-x1=	1560					x8-x12=	1880			x16-x17=	0						
X4 +x5+x6-x2=	1780					x10-x9=	590			x7-x1=	129						
X7-x8=	496					x10-x11=	590			x1-x15=	515						
X7-x10=	1790					x10-x12=	590			x2-x15=	301						
x8-x10=	1280					x7-x13=	2370										
x7-x15=	60					x7-x14=	2370										
x7-x9=	2370					x15-x16=	1730										
x7-x11=	2370					x15-x17=	1730										
x7-x12=	2370					x1-x2=	213										

Fuente: Elaboración propia

**v) Rendimiento de maquinaria (Productos/Horas)**

Maquinaria	N°	Rendimiento	unidades	Observación
Camión recolector	2	20	m <sup>3</sup> =	1, 7 t/descarga; debido a la densidad del residuo mezclado considerando las proporciones de residuo es 85 kg/m <sup>3</sup>
Cinta de elevación	1	1,5	t residuos/hora	
Cinta de selección	1	1,5	t residuos/hora	
Cinta de salida de descarte	1	1	t residuos/hora	
Prensa compactadora	1	1	t de residuos plásticos (PEBD, PVC, PP, PS), papel, cartón, metal/hora	Separados por tipo, pero se compactan con esta máquina
Molino de plástico PET y PEAD	1	0,35	t de residuo PET, PEAD/hora	separados por tipo, pero se pican con esta máquina
Molino de vidrio	1	0,35	t de vidrio/hora	separados por tipo, pero se pican con esta máquina

Fuente: Elaboración propia

**vi) Rendimiento (Horas/hombre)**

Etapa	HH	Rendimiento
Acopio de residuos	768	0,011 t/hh
Selección de residuos	2688	0,003 t/hh
compactación	384	0,023 t/hh
Molienda	384	0,023 t/hh

Fuente: Elaboración propia

### Utilidad Unitaria

ÍTEM	Variable	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17
	Año	Papel blanco	Papel color	Periódico	Cartón blanco	Cartón marrón	Mixto	PET	PEAD	PEBD	PP	PS	PVC	Vidrio incoloro	Vidrio color	Latas-hojalata	Fierro	Aluminio
PRECIO UNITARIO DE VENTA	soles/tonelada	500	200	200	100	100	100	1500	1500	500	500	500	500	200	200	500	800	600
COSTO UNITARIO	soles/tonelada	399	120	109	69	75	90	1201	1100	320	325	340	220	101	150	329	650	320
UTILIDAD UNITARIA	soles/tonelada	101	80	91	31	25	10	299	400	180	175	160	280	99	50	171	150	280

Fuente: Elaboración propia

### Detalles de los costos de la mano de obra indirecta y directa

Concepto de descripción	N°	Sueldo (Al mes)	Beneficio al mes (44,81%) [50]	Cantidad al año	Sueldo anual
Jefe de planta	1	S/.3 000,00	S/.1 344,30	12	S/.52 131,60
Supervisor producción	1	S/.1 800,00	S/.806,58	12	S/.31 278,96
Supervisor calidad	1	S/.1 800,00	S/.806,58	12	S/.31 278,96
Jefe de logística y ventas	1	S/.2 000,00	S/.896,20	12	S/.34 754,40
Secretaria	1	S/.1 200,00	S/.537,72	12	S/.20 852,64
Guardián de planta	2	S/.930,00	S/.416,73	12	S/.32 321,59
Chofer de recolección	2	S/.930,00	S/.416,73	12	S/.32 321,59
Obreros de recolección	6	S/.930,00	S/.416,73	12	S/.96 964,78
Operarios reciclaje	14	S/.930,00	S/.416,73	12	S/.226 251,14
Operarios máquinas	6	S/.930,00	S/.416,73	12	S/.96 964,78
Almaceneros	2	S/.930,00	S/.416,73	12	S/.32 321,59
<b>TOTAL</b>					<b>S/.687 442,0</b>

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 12. Escenarios

Asimismo, se utilizó el simulador TORA para dos escenarios de sensibilidad y así hallar resultados en un escenario favorable y otro desfavorable, como se describe a continuación.

### 1. Primer escenario

Se han cambiado los coeficientes de las variables más rentables. Esto es, se ha incrementado la rentabilidad unitaria de aquellos productos (obtenidos de los residuos recolectados) que generan mayor utilidad a la planta. Se ha incrementado utilizando un valor del rango de optimalidad que genera el software en cada producto.

TORA Optimization System, Windows® version 1.00  
Copyright © 2000-2002 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved  
Julien, December 03, 2000 20:13

LINEAR PROGRAMMING

SIMPLEX TABLEAU - (Two-Phase Method)

Title: MODELO PARA PLANTA (Maximize)

Steps for generating NEXT tableau from CURRENT one:

1. ENTERING variable: Click a NONBASIC variable (if correct, column turns green)
2. LEAVING variable: Click a BASIC variable (if correct, row turns red)
3. Click command button NEXT ITERATION (or ALL ITERATIONS) -- This step may be executed without Steps 1 and/or 2.

Next Iteration All Iterations Write to Printer

Phase 2 [Iter 24]	xx60	xx61	xx62	xx63	xx64	Solution
Basic:						
z (max)	0.00	0.00	0.00	-280.00	100.00	1529905.00
x2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	124.00
Sx18	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	60.00
x3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	501.00
x4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	129.00
x5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	218.00
x6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	75.00
Sx32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1602.00
x8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1312.00
x9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	142.00
x10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.00
x11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.00
x12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00
x13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	225.00
x14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00
x15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1748.00

View/Modify Input Data MAIN Menu Exit TORA

Figura 43. Captura 1 de primer escenario en TORA

Fuente: Elaboración propia

TORA C:\Users\HOME\Documents\TESIS MALU\1er escenario.txt

LINEAR PROGRAMMING

TORA Optimization System, Windows® version 1.00  
Copyright © 2000-2002 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved.  
version: Diciembre 04, 2005 0:43

**SIMPLEX TABLEAU - (Two-Phase Method)**

Title: **MODELO PARA PLANTA (Maximize)**

Steps for generating NEXT tableau from CURRENT one:

1. ENTERING variable: Click a NONBASIC variable (if correct, column turns green)
2. LEAVING variable: Click a BASIC variable (if correct, row turns red)
3. Click command button NEXT ITERATION (or ALL ITERATIONS) -- This step may be executed without Steps 1 and/or 2.

	Next Iteration	All Iterations	Write to Printer		
x14	0.00	0.00	0.00	0.00	24.00
x15	1.00	0.00	0.00	0.00	2452.00
x16	0.00	0.00	0.00	0.00	49.00
x17	1.00	0.00	0.00	-1.00	722.00
sx52	1.00	0.00	0.00	0.00	3590.00
sx53	1.00	0.00	0.00	0.00	3594.00
sx54	0.00	0.00	0.00	0.00	1475.00
sx55	0.00	0.00	0.00	0.00	1482.00
Sx24	1.00	0.00	0.00	0.00	2233.00
sx57	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00
Sx34	1.00	0.00	0.00	-1.00	721.30
x7	1.00	0.00	0.00	0.00	2512.00
Sx29	1.00	0.00	-1.00	0.00	131.00
sx61	-1.00	1.00	0.00	0.00	6.00
Sx27	1.00	0.00	0.00	0.00	704.00
Sx25	1.00	0.00	0.00	0.00	1752.00
x1	0.00	0.00	0.00	0.00	337.00

View/Modify Input Data    MAIN Menu    Exit TORA

**Figura 44. Captura 2 de primer escenario en TORA**

Fuente: Elaboración propia

La rentabilidad alcanza la suma de 1 529 905 nuevos soles (figura 41) cuando se las siguientes toneladas de los siguientes insumos (figuras 41 y 42):

X1: 337 toneladas anuales de PAPEL BLANCO.

X7: 2512 toneladas anuales de PET.

X8: 1312 toneladas anuales de PEAD.

X15: 2452 toneladas anuales de LATAS - HOJALATAS.

X17: 722 toneladas anuales de ALUMINIO.

Por lo que se deduce que estos son los productos que mayor rentabilidad le genera a la planta y la decisión para maximizar la rentabilidad pasa por tomar esta decisión relacionada a la obtención de los productos de mayor impacto.

## 2. Segundo escenario

Se han cambiado los coeficientes de las demandas en las variables (residuos sólidos) que han reportado baja rentabilidad, asumiendo que no son de amplio impacto para la planta de reciclaje, por lo tanto se descarta producirlas y en el modelo se asume el límite inferior contenido en el rango de optimalidad de cada una, cuyo valor es cero. Asimismo se considera en incrementar la cantidad de la demanda proyectada en las variables que tienen

mayor rotación colocando valores que se encuentran en el rango de optimalidad. El resultado es como se muestra a continuación en las figuras 43, 44 y 45.



**Figura 45. Captura 1 de segundo escenario en TORA**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 46. Captura 2 de segundo escenario en TORA**

Fuente: Elaboración propia

TORA C:\Users\HOME\Documents\TESIS MALU\2DO ESCENARIO.txt

LINEAR PROGRAMMING

TORA Optimization System, Win32/64-bit version 1.00  
Copyright © 2000-2002 Hamdy A. Taha. All Rights Reserved  
Vienna, December 04, 2000 (E51)

**SIMPLEX TABLEAU - (Two-Phase Method)**

**Title: MODELO PARA PLANTA (Maximize)**

Steps for generating NEXT tableau from CURRENT one:

1. ENTERING variable: Click a NONBASIC variable (if correct, column turns green)
2. LEAVING variable: Click a BASIC variable (if correct, row turns red)
3. Click command button NEXT ITERATION (or ALL ITERATIONS) -- This step may be executed without Steps 1 and/or 2.

	Next Iteration	All Iterations	Write to Printer			
x14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x15	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2452.00
x16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x17	1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	722.00
xs56	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3665.00
xs57	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3669.00
xs58	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1550.00
xs59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1557.00
Sw24	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2233.00
xs61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00
Sw34	1.00	0.00	0.00	-1.00	0.00	722.00
x7	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2512.00
Sw29	1.00	0.00	-1.00	0.00	0.00	146.00
xs65	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	6.00
Sw27	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	736.00
Sw25	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1752.00
x1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	337.00

View/Modify Input Data    MAIN Menu    Exit TORA

**Figura 47. Captura 3 de segundo escenario en TORA**

Fuente: Elaboración propia

La rentabilidad alcanza la suma de 2 495 452 nuevos soles (valor de Z), cuando se tratan las cantidades de los siguientes residuos sólidos:

X1: 337 toneladas anuales de PAPEL BLANCO.

X6: 00 toneladas anuales de MIXTO, esto es no producirla porque no genera mayor valor.

X7: 2512 toneladas anuales de PET.

X8: 2016 toneladas anuales de PEAD.

X10: 736 toneladas anuales de PP.

X11: 00 toneladas anuales de PS, esto es no producirla porque no genera mayor valor.

X12: 146 toneladas anuales de PVC.

X14: 00 toneladas anuales de VIDRIO COLOR, esto es no producirla porque no genera mayor valor.

X15: 2452 toneladas anuales de LATAS - HOJALATAS.

X16: 00 toneladas anuales de FIERRO, esto es no producirla porque no genera mayor valor en las condiciones generadas.

Tanto el escenario 1 y 2 entregan valores de residuos que deberían ser acopiados, priorizando en algunos de estos (según tipo), con lo que se tendrían mejores resultados de rentabilidad, pero estas cantidades no podrían obtenerse sólo del distrito de Ferreñafe, por lo que se requiere convertir a la planta de reciclaje en el centro de procesamiento del residuo de otros distritos de Lambayeque.