

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA**



**TESIS**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA RECICLADORA DE PLÁSTICOS  
EN LA PROVINCIA DE CUSCO (ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD)**

**PRESENTADO POR:**

Br. LAXMI TAIRO GOMEZ

Br. ENRIQUE MARCIAL ROZAS VILLASANTE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO PETROQUÍMICO**

**ASESORA:**

Dra. AMANDA ROSA MALDONADO FARFÁN

**CUSCO – PERÚ**

**2025**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor .....AMANDA ROSA MALDONADO FARFÁN.....  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: .....IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA  
RECICLADORA DE PLÁSTICOS EN LA PROVINCIA DE CUSCO  
(ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD).....

Presentado por: LAXMI TAIRO GOMEZ ..... DNI N° 73947569 ..... ;  
presentado por: ENRIQUE MARCIAL ROZAS VILASANTE ..... DNI N°: 74882098 .....  
Para optar el título Profesional/Grado Académico de .....INGENIERO PETROQUÍMICO.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por ...2... veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de .....1.....%.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 17 de Septiembre ..... de 2025.....

.....  
Firma

Post firma: Amanda Rosa Maldonado Farfán

Nro. de DNI...23822559.....

ORCID del Asesor...0000-0002-4270-7078.....

#### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: .....27259:499724208.....

# IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA RECICLADORA DE PLÁSTICOS EN LA PROVINCIA DE CUSCO.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

## Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::27259:499724208

Fecha de entrega

16 sep 2025, 9:55 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

16 sep 2025, 10:05 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA RECICLADORA DE PLÁSTICOS EN LA PROVINCIA DE CUSCO.pdf

Tamaño del archivo

3.3 MB

346 páginas

72.269 palabras

385.181 caracteres

# 1% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

---

## Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

---

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## DEDICATORIA

*A mis padres, Ignacio y Ricardina, quienes con su amor inmenso y sacrificios silenciosos me han enseñado el verdadero significado del esfuerzo, la humildad y la entrega. Gracias por estar en cada paso, por levantarme en los momentos difíciles, y por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba.*

*A mis hermanos, Max y Betsy, por ser abrigo en las tormentas y compañía constante en este largo camino. Su apoyo, sus consejos y su ejemplo han sido faros en mis días más inciertos.*

*A mis abuelitos, por su amor sencillo, puro y sabio, que vive en cada recuerdo, en cada gesto.*

*Y a mi pequeño Alessandro Lautaro, mi sobrino amado, quien con solo existir le da esperanza a mis anhelos, y alegría a mis batallas. Tu sonrisa me recuerda todo lo bello que aún está por venir.*

*Esta meta no la he alcanzado solo, la he construido con ustedes, paso a paso, desde lo más profundo de mi ser. Porque todo lo que soy, todo lo que he logrado y todo lo que algún día alcanzaré, tiene raíz en el amor inmenso que me han dado.*

*En ustedes encontré siempre el motivo, el aliento y el camino.*

**Enrique Marcial Rozas Villasante**

*A mis padres, por enseñarme con su ejemplo que todo se puede lograr con esfuerzo, honestidad y amor. Gracias por estar conmigo, incluso en esos momentos donde el silencio decía más que las palabras.*

*A mi madre, Gregoria, por ser mi fuerza y mi refugio, por cada consejo, por cada palabra de aliento, por tus sacrificios silenciosos, por tus abrazos y por todo lo que hiciste por mí sin pedir nada a cambio. Este logro también es tuyo, con todo mi amor.*

*A mi hermano Fernando, por tu cariño incondicional y por estar ahí cuando necesitaba apoyo sin tener que pedirlo.*

*A mi tía Alicia, que, aunque ya no esté aquí físicamente, sé que me cuida desde el cielo. Siempre te llevo en mi corazón. Tu recuerdo me acompaña y me da luz.*

*A mis abuelos, por sus enseñanzas, por su cariño y por haber sido el origen de todo lo bueno que hay en nuestra familia. Ustedes sembraron raíces que todavía nos sostienen.*

*A toda mi querida familia, mis tíos, primos y seres queridos por su compañía, por sus palabras, por sus gestos sinceros de aliento, por estar presentes, incluso desde la distancia.*

*Y a mis amigas y amigos, por escucharme, por aguantar mis enredos, mis momentos de estrés y por no soltarme cuando más los necesitaba.*

*Finalmente, a mi querido Hotto, mi compañero incondicional, quien, con su ternura, su alegría y su amor sincero ha llenado mis días de calma y sonrisas  .*

**Laxmi Tairo Gomez**

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por darme la vida y la oportunidad de soñar en grande.  
 Mi gratitud eterna a quienes formaron parte de este camino.  
 A mis padres, Ignacio y Ricardina, por su apoyo incondicional y por enseñarme con amor y ejemplo que todo esfuerzo vale la pena.  
 A mis hermanos, Max y Betsy, por creer siempre en mí y estar presentes en cada paso, los quiero demasiado.  
 A mis abuelitos, por ser raíz y sabiduría en mi vida.  
 Y a Alessandro Lautaro, mi pequeño sobrinito, por llenarme de luz y recordarme cada día por qué vale la pena seguir adelante.  
 A nuestros docentes, por su entrega y enseñanzas; en especial, a nuestra asesora, la Dra. Amanda Maldonado, por compartir con nosotros su experiencia, su compromiso y su valioso acompañamiento para hacer realidad este trabajo.  
 A mis compañeros de universidad y amigos, quienes, a pesar del corto tiempo, dejaron huellas importantes en mi vida y me acompañaron con afecto y complicidad en esta y otras etapas de la vida.  
 Y a mi compañera de tesis, Laxmi, gracias por la paciencia, el compromiso y por compartir tantas risas en medio de este gran reto.  
 Espero que la vida nos mantenga conectados como grandes amigos y colegas por muchos años más.*

**Enrique Marcial Rozas Villasante**

*Agradezco con todo mi corazón a Dios, por ser mi guía y darme fuerzas incluso en los días más difíciles durante toda esta etapa.  
 A mi familia, especialmente a mi madre, Gregoria, gracias por tu amor de siempre, por tus consejos, por estar a mi lado en cada etapa y por confiar en mí incluso cuando yo no lo hacía.  
 A mi padre, Sebastián, por tu esfuerzo, por tu forma de apoyarme sin decir mucho, pero haciéndolo sentir siempre. Gracias por estar presente a tu manera.  
 A mis seres queridos y amigos gracias por animarme, escucharme, por sacarme una sonrisa, estuvieron ahí cuando más lo necesitaba.  
 A la Dra. Amanda Maldonado, nuestra asesora, gracias por su paciencia, su guía y por acompañarnos durante todo este camino con tanta dedicación. Su apoyo fue clave para lograr este trabajo.  
 A todos los docentes que fueron parte de mi formación profesional, gracias por compartir su conocimiento y enseñarnos con vocación.  
 A mi compañero de tesis, Enrique, gracias por tu colaboración, por tu tiempo, tu compromiso y por haber compartido este camino de principio a fin. Que este logro sea solo el inicio de muchos otros.  
 A mis compañeros de universidad y a todas las personas que estuvieron conmigo en este reto, gracias. Cada gesto, cada palabra y cada apoyo por pequeño que parezca, se quedó grabado en mí.*

**Laxmi Tairo Gomez**

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad evaluar la viabilidad técnica, económica y financiera de implementar una planta recicladora de plásticos en la provincia del Cusco, orientada a la producción de hojuelas de tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno de alta densidad (PEAD) a partir de residuos plásticos de origen domiciliario. El proceso propuesto considera las etapas de clasificación manual, trituración, lavado en caliente, enjuague, separación por densidad y secado, adaptadas a las características específicas de cada material. Los resultados obtenidos evidencian que el proyecto es rentable y sostenible. Desde el ámbito económico, se alcanzó un Valor Actual Neto Económico (VANE) de S/ 19,421.80 y una Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) de 8.22%. En el aspecto financiero, el Valor Actual Neto Financiero (VANF) asciende a S/ 423,988.19 y la Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF) es de 10.10%, superando al Costo de Oportunidad del Capital (COK) de 8.16% y al Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC) de 8.28%. El Período de Recuperación de la Inversión (PRI) se estima en 7 años y 22 días, mientras que la relación Beneficio/Costo (B/C) alcanza 1.51, lo que confirma la solidez del proyecto. En cuanto a la dimensión ambiental, se plantea la reducción del volumen de residuos plásticos en la región y el fortalecimiento de la economía circular mediante el reaprovechamiento de materiales reciclables. Asimismo, se propone la implementación de medidas de eficiencia energética, recirculación de agua y mejoras tecnológicas, garantizando una operación sostenible y de bajo impacto ambiental.

Palabra clave: HOJUELAS, RECICLAJE, ECONOMIA CIRCULAR, CUSCO

## INTRODUCCION

En las últimas décadas, el incremento sostenido en el consumo de productos plásticos ha generado una creciente acumulación de residuos sólidos urbanos, con importantes consecuencias ambientales, sociales y económicas. En el caso de la provincia del Cusco, este problema se intensifica debido a la limitada infraestructura para el reciclaje y al escaso aprovechamiento de los residuos plásticos de origen domiciliario, los cuales en su mayoría terminan en botaderos informales o en el medio ambiente.

Ante esta problemática, el reciclaje se presenta como una alternativa viable para reducir el volumen de residuos, fomentar la economía circular y promover el desarrollo sostenible. Dentro de este contexto, el presente estudio propone la instalación de una planta recicladora de plásticos orientada a la producción de hojuelas recicladas de PET (tereftalato de polietileno), PP (polipropileno) y PEAD (polietileno de alta densidad), a partir de residuos domiciliarios recolectados en la provincia del Cusco.

El proyecto contempla un análisis integral que incluye aspectos técnicos, económicos, financieros y ambientales. Se desarrolla el proceso específico para cada tipo de plástico; así como, una evaluación de costos, ingresos, flujo de caja y principales indicadores de rentabilidad. Asimismo, se identifican medidas de eficiencia energética, reutilización de agua y estrategias para mejorar la calidad del producto reciclado.

El objetivo principal es determinar la viabilidad de implementar esta planta recicladora, considerando su capacidad para generar valor agregado, mitigar impactos ambientales y contribuir con el desarrollo local a través de la generación de empleo y el fortalecimiento de la gestión de residuos sólidos.

## ÍNDICE

Capítulo I. Generalidades.....	1
1.1. Objetivos del proyecto.....	1
1.1.1. Objetivos generales .....	1
1.1.2. Objetivos específicos .....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Aspectos administrativos.....	3
1.3.1. Planificación del Proyecto.....	3
1.3.2. Organización del Proyecto .....	3
1.3.3. Finanzas del Proyecto .....	4
1.3.4. Recursos Humanos.....	4
1.3.5. Logística y Abastecimiento.....	5
Capítulo II. Estudio de mercado.....	6
2.1. Descripción, características y usos .....	6
2.1.1. Descripción del Proyecto .....	6
2.1.2. Importancia del reciclaje .....	6
2.1.3. Definición de la Materia Prima y el Producto.....	8
2.1.4. Residuos Plásticos Domiciliarios en la Provincia del Cusco .....	9
2.1.5. Usos del Producto: Hojuelas de Plástico Reciclado (PET, PP y PEAD).....	10
2.2. Estudio de la Demanda y Oferta de la materia prima.....	11

2.2.1. Demanda de la Materia Prima.....	12
2.2.2. Oferta de la Materia Prima.....	16
2.2.3. Demanda insatisfecha de la Materia Prima.....	35
2.3. Estudio de la Demanda y Oferta del Producto .....	36
2.3.1. Demanda del Producto .....	36
2.3.2. Oferta del Producto .....	40
2.4. Demanda insatisfecha del producto.....	42
2.5. Mercado potencial para el proyecto .....	43
2.5.1. Origen de la Materia Prima.....	44
2.5.2. Mercado Objetivo.....	44
2.5.3. Demanda insatisfecha = Oportunidad .....	45
2.6. Segmentación del mercado.....	45
2.6.1. Segmentación Geográfica .....	46
2.6.2. Segmentación Demográfica .....	46
2.6.3. Segmentación Conductual.....	46
2.6.4. Segmentación Psicográfica .....	47
2.6.5. Segmentación por competencia.....	47
2.7. Estudio de precios.....	47
2.7.1. Factores que Influyen en los Precios.....	49
2.7.2. Estrategia de Precios para el Proyecto .....	49

2.8. Estudio de canales de comercialización .....	49
2.8.1. Canal Corto (Venta directa) .....	50
2.8.2. Canal Largo (con intermediarios) .....	51
2.8.3. Canales Digitales Complementarios .....	52
2.8.4. Elección del Canal de Comercialización del proyecto.....	52
Capítulo III. Estudio técnico del proyecto.....	55
3.1. Introducción.....	55
3.1.1. Características de las materias primas recicladas.....	55
3.1.2. Características del producto obtenido .....	57
3.1.3. Objetivo del estudio técnico.....	58
3.1.4. Contexto del proyecto .....	59
3.2. Localización del proyecto.....	60
3.2.1. Cercanía al mercado .....	61
3.2.2. Vías de comunicación. ....	63
3.2.3. Disponibilidad de mano de obra. ....	63
3.2.4. Disponibilidad de suelos. ....	66
3.2.5. Disponibilidad de recursos hídricos.....	67
3.2.6. Disponibilidad de energía y potencia.....	69
3.2.7. Disponibilidad de materia prima e insumos.....	70
3.2.8. Condiciones climáticas.....	71

3.2.9. Cercanía a atractivos turísticos.....	71
3.2.10. Selección y justificación de la localización. ....	72
3.3. Tamaño del proyecto .....	74
3.3.1. Tamaño - Mercado .....	74
3.3.2. Tamaño – Economías de escala .....	75
3.3.3. Tamaño - Materia Prima .....	77
3.3.4. Tamaño – Tecnología y procesos.....	78
3.3.5. Tamaño – Capacidad Gerencial .....	79
3.3.6. Tamaño – Capacidad de inversión .....	80
3.3.7. Tamaño – Localización .....	81
3.3.8. Tamaño – Regulaciones y normativas .....	82
3.3.9. Tamaño - Flexibilidad y adaptabilidad .....	83
3.3.10. Tamaño - Análisis de costos .....	83
3.3.11. Selección del tamaño.....	84
3.4. Ingeniería del Proyecto.....	85
3.4.1. Periodo operacional estimado de la planta.....	85
3.4.2. Elección del Proceso Productivo.....	86
3.4.3. Descripción detallada del proceso: Producción de Hojuelas de Plástico a partir de residuos plásticos domiciliarios de PET, PP y PEAD en la Provincia del Cusco .....	91
3.4.4. Balance de materia .....	112

3.4.5. Balance de materia para el proceso de Reciclado del PET .....	115
3.4.6. Balance de materia para el proceso de Reciclado del PP y PEAD .....	131
3.4.7. Balance General de Materia .....	147
3.4.8. Balance de energía .....	151
3.4.9. Capacidad de producción .....	168
3.4.10. Selección y distribución de la maquinaria y equipos en la planta industrial .....	170
Capítulo IV. Organización del proyecto .....	172
4.1. Aspectos generales. ....	172
4.2. Estructura organizativa del proyecto .....	173
4.3. Plan de recursos humanos .....	180
4.3.1. Contratación .....	180
4.3.2. Proceso de selección .....	181
4.3.3. Capacitación .....	181
4.3.4. Inducción.....	182
Capítulo V. Estudio de impacto ambiental y Social .....	184
5.1. Estudio de probables impactos ambientales .....	184
5.2. Estudio de probables impactos sociales .....	188
5.2.1. Normas Ambientales Generales .....	189
5.2.2. Gestión de Residuos Sólidos.....	189
5.2.3. Salud y Seguridad en el Trabajo .....	190

5.2.4. Normativa sobre Agua, Aire y Ruido .....	190
5.3. Plan de remediación de impactos ambientales .....	191
5.3.1. Plan de mitigación para el agua .....	191
5.3.2. Plan de mitigación para el suelo.....	194
5.3.1. Plan de mitigación para el aire .....	195
Capítulo VI. Estudio legal y normativo .....	198
6.1. Cumplimiento de regulaciones locales e internacionales.....	198
6.1.1. Normativa Nacional .....	198
6.1.2. Normativas Locales (Cusco y San Sebastián).....	200
6.1.3. Normativas Internacionales.....	201
6.2. Permisos y licencias requeridas.....	202
6.3. Consideraciones de seguridad industrial.....	203
Capítulo VII. Inversiones y financiamiento .....	205
7.1. Inversiones en activos fijos tangibles.....	205
7.1.1. <i>Terreno</i> .....	205
7.1.2. <i>Construcción de infraestructura</i> .....	207
7.1.3. <i>Instalación y montaje de maquinarias y equipos</i> .....	209
7.1.4. <i>Equipos de transporte</i> .....	212
7.1.5. <i>Mobiliario y equipos de oficina</i> .....	213
7.2. Inversiones en activos fijos intangibles.....	214

7.2.1. <i>Costos de Organización del Proyecto, patentes y similares</i> .....	215
7.2.2. <i>Costo de Ingeniería y administración de la instalación</i> .....	215
7.2.3. <i>Intereses durante la construcción</i> .....	215
7.2.4. <i>Imprevistos</i> .....	215
7.3. <i>Capital de trabajo</i> .....	217
7.3.1. <i>Inversión para Recolección de Materia Prima (MP)</i> .....	219
7.3.2. <i>Insumos y Materiales Auxiliares</i> .....	219
7.3.3. <i>Sueldos y Salarios</i> .....	220
7.3.4. <i>Servicios Básicos</i> .....	226
7.4. <i>Resumen de las Inversiones</i> .....	226
7.5. <i>Programa de inversión del proyecto</i> .....	226
7.6. <i>Plan de financiamiento</i> .....	228
7.6.1. <i>Estructura de financiamiento</i> .....	228
7.6.2. <i>Servicio a la deuda</i> .....	229
Capítulo VIII. <i>Presupuesto de gastos e ingresos del proyecto</i> .....	231
8.1. <i>Pronósticos de ingresos.</i> .....	231
8.2. <i>Presupuesto Egresos</i> .....	234
8.2.1. <i>Costos Directos</i> .....	234
8.2.2. <i>Costos Indirectos</i> .....	249
8.2.3. <i>Costos Administrativos</i> .....	250

8.2.4. <i>Costos Financieros</i> .....	250
8.3. Estado de resultados proyectados .....	253
8.4. Presupuesto de caja.....	254
8.5. Fuentes y usos de fondos .....	255
8.5.1. <i>Fuentes de fondos</i> .....	256
8.5.2. <i>Uso de fondos</i> .....	256
8.6. Punto de equilibrio .....	257
8.6.1. <i>Producción de hojuelas y Precio de Venta en general anuales en el proyecto</i> .....	258
8.6.2. <i>Costos fijos</i> .....	259
8.6.3. <i>Costos Variables</i> .....	261
8.6.4. <i>Cálculo del punto de equilibrio anual</i> .....	262
8.6.5. <i>Cálculo del punto de equilibrio global</i> .....	265
8.6.6. <i>Importancia del Punto de Equilibrio</i> .....	267
Capítulo IX. Evaluación económica y financiera del proyecto .....	269
9.1. Horizonte de evaluación .....	269
9.2. Costo de oportunidad del capital .....	270
9.2.1. <i>Cálculo del costo de oportunidad del capital</i> .....	270
9.3. Costo promedio de la financiación del proyecto .....	272
9.3.1. <i>Cálculo del Costo promedio de la financiación del proyecto</i> .....	272
9.4. Depreciación.....	273

9.5. Flujo de caja económico y financiero.....	275
9.5.1. <i>Flujo de Caja Económico</i> .....	275
9.5.2. <i>Flujo de Caja Financiero</i> .....	275
9.5.3. <i>Flujo de caja</i> .....	276
9.6. Valor Actual Neto Económico y Valor Actual Neto Financiero (VANE y VANF).....	276
9.6.1. <i>Cálculo del VAN</i> .....	279
9.6.2. <i>Interpretación de resultados del VAN</i> .....	279
9.7. Tasa Interna de Retorno Económico y Financiero (TIRE y TIRF).....	280
9.7.1. <i>Cálculo del TIR</i> .....	281
9.7.2. <i>Interpretación de resultados del TIR</i> .....	281
9.7.3. <i>Cálculo del Valor Actual Neto Económico (VANE)</i> .....	282
9.7.4. <i>Cálculo de la Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE)</i> .....	283
9.7.5. <i>Cálculo del Valor Actual Neto Financiero (VANF)</i> .....	284
9.7.6. <i>Cálculo de la Tasa Interna de Retorno Financiero (TIRF)</i> .....	285
9.8. Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) .....	285
9.9. Relación Beneficio-Costo (B/C).....	287
9.9.1. <i>Cálculo de la Relación Beneficio-Costo (B/C)</i> .....	287

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Ejemplos de Residuos plásticos procesables.....	10
<b>Tabla 2</b> Toma de datos de muestras de plásticos seleccionados en el Centro de Acopio San Antonio.....	15
<b>Tabla 3</b> Composición del Plástico demandado en la Provincia del Cusco .....	15
<b>Tabla 4</b> Cantidad de Residuos Plásticos PET, PEAD y PP demandados en la Provincia del Cusco.....	16
<b>Tabla 5</b> Población urbana en los años 2007 y 2017 en la provincia del Cusco .....	17
<b>Tabla 6</b> Valores de la Tasa Intercensal para los distritos de la Provincia del Cusco .....	18
<b>Tabla 7</b> Generación per cápita de Residuos Sólidos Domiciliarios por Distrito.....	20
<b>Tabla 8</b> PBI per cápita anual en Perú .....	21
<b>Tabla 9</b> Índices de crecimiento parciales para el PET y PP .....	22
<b>Tabla 10</b> Índice de Crecimiento para el PBI per cápita.....	23
<b>Tabla 11</b> Proyección del PBI per cápita del 2025 al 2034 .....	24
<b>Tabla 12</b> Nivel de ingreso del país .....	25
<b>Tabla 13</b> Proyección de la Generación Per cápita de Residuos Sólidos domiciliarios ....	26
<b>Tabla 14</b> Proyección de la Población Urbana por Distritos .....	28
<b>Tabla 15</b> Cantidad de Residuos Sólidos domiciliarios proyectados en TM/año.....	29
<b>Tabla 16</b> Porcentaje de Generación de Residuos Plásticos en la Provincia del Cusco ....	30
<b>Tabla 17</b> Índices de crecimiento parciales para el PET, PP y PEAD.....	31
<b>Tabla 18</b> Índice de Crecimiento para PET, PEAD y PP .....	32
<b>Tabla 19</b> Porcentajes de generación de residuos plásticos PET, PP y PEAD proyectados en la provincia del Cusco .....	33

<b>Tabla 20</b> Oferta de la Materia Prima en la Provincia del Cusco .....	34
<b>Tabla 21</b> Demanda Insatisfecha de la Materia Prima.....	36
<b>Tabla 22</b> Demanda del Producto .....	38
<b>Tabla 23</b> Demanda de Hojuelas Recicladas para Exportación.....	39
<b>Tabla 24</b> Principales Empresas Productoras de hojuelas de plásticos PET en Lima .....	41
<b>Tabla 25</b> Demanda insatisfecha del producto .....	43
<b>Tabla 26</b> Precios por kilogramo de hojuelas de plástico reciclado .....	48
<b>Tabla 27</b> Elección por ponderación para el canal de comercialización .....	52
<b>Tabla 28</b> Puntaje por criterio para la localización - Cercanía al mercado.....	62
<b>Tabla 29</b> Puntaje por criterio para la localización - Vías de comunicación.....	63
<b>Tabla 30</b> Tasa de desempleo en la Provincia del Cusco .....	64
<b>Tabla 31</b> Tasa de desempleo proyectado hasta el 2034 .....	65
<b>Tabla 32</b> Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Mano de Obra....	66
<b>Tabla 33</b> Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Suelos .....	67
<b>Tabla 34</b> Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Recursos Hídricos .....	68
<b>Tabla 35</b> Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Energía y Potencia .....	69
<b>Tabla 36</b> Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Materia Prima e Insumos .....	70
<b>Tabla 37</b> Puntaje por criterio para la localización - Condiciones Climáticas y Cercanía a atractivos turísticos.....	72
<b>Tabla 38</b> Resumen de la ponderación en la localización .....	72

<b>Tabla 39</b> Selección y justificación de la localización .....	73
<b>Tabla 40</b> Estimación de la demanda proyectada de Residuos Plásticos .....	74
<b>Tabla 41</b> Cantidad de hojuelas PET, PP y PEAD producidas por año .....	75
<b>Tabla 42</b> Costos anuales de PET, PP y PEAD .....	76
<b>Tabla 43</b> Costo Unitario de Producción .....	76
<b>Tabla 44</b> Maquinaria Requerida para el Funcionamiento de la Planta .....	79
<b>Tabla 45</b> Elección por ponderaciones de Lavado en caliente o frío.....	89
<b>Tabla 46</b> Cantidad de Zonas de recolección por Distrito de la Provincia de Cusco .....	93
<b>Tabla 47</b> Cantidad de Residuos Plásticos Generados en la provincia del Cusco por distrito .....	94
<b>Tabla 48</b> Cronograma de recojo de residuos plásticos por distritos.....	96
<b>Tabla 49</b> Flujos de entrada de la planta.....	113
<b>Tabla 50</b> Flujos reales de entrada de la planta .....	114
<b>Tabla 51</b> Balance de Materia en la etapa de separación manual del PET .....	116
<b>Tabla 52</b> Balance de Materia en la etapa de la saca etiquetas del PET .....	118
<b>Tabla 53</b> Balance de Materia en la etapa del Trommel del PET .....	120
<b>Tabla 54</b> Balance de Materia en la etapa del Molino del PET .....	121
<b>Tabla 55</b> Balance de Materia en la etapa del Lavado en caliente del PET .....	123
<b>Tabla 56</b> Balance de Materia en la etapa del Enjuague del PET.....	125
<b>Tabla 57</b> Balance de Materia en la etapa del Separador por densidad del PET .....	127
<b>Tabla 58</b> Balance de Materia en la etapa del Secador del PET .....	129
<b>Tabla 59</b> Rendimientos en el proceso del PET .....	130
<b>Tabla 60</b> Balance de Materia en la etapa de la separación manual del PP y PEAD .....	133

<b>Tabla 61</b> Balance de Materia en la etapa del molino del PP y PEAD .....	136
<b>Tabla 62</b> Balance de Materia en la etapa del lavado en caliente del PP y PEAD .....	139
<b>Tabla 63</b> Balance de Materia en la etapa del enjuague del PP y PEAD .....	142
<b>Tabla 64</b> Balance de Materia en la etapa del secado del PP y PEAD .....	144
<b>Tabla 65</b> Rendimientos en el proceso de la línea de PP.....	145
<b>Tabla 66</b> Rendimientos en el proceso de la línea de PEAD.....	145
<b>Tabla 67</b> Balance de Materia para el Proceso Global .....	148
<b>Tabla 68</b> Resumen de Rendimientos en las 3 líneas de proceso .....	151
<b>Tabla 69</b> Parámetro utilizados.....	153
<b>Tabla 70</b> Valores de capacidad calorífica (Cp) .....	154
<b>Tabla 71</b> Datos del PET .....	158
<b>Tabla 72</b> Datos del PP .....	162
<b>Tabla 73</b> Datos del PEAD .....	165
<b>Tabla 74</b> Capacidad de Producción.....	168
<b>Tabla 75</b> Escala de interpretación de impactos .....	186
<b>Tabla 76</b> Matriz de Leopold.....	186
<b>Tabla 77</b> Plan de remediación de impactos ambientales.....	191
<b>Tabla 78</b> Costo de la Implementación del sistema de recirculación de agua.....	193
<b>Tabla 79</b> Costo de la Implementación del sistema de tratamiento de agua contaminada .....	194
<b>Tabla 80</b> Costo de la Implementación del sistema de tratamiento de suelos .....	195
<b>Tabla 81</b> <i>Costo de Terreno en San Sebastián (para 1,000 m<sup>2</sup>)</i> .....	206
<b>Tabla 82</b> <i>Área estimada para cada zona funcional</i> .....	207

<b>Tabla 83</b> <i>Costo de construcción en San Sebastián</i> .....	208
<b>Tabla 84</b> <i>Costo de la implementación de la infraestructura</i> .....	209
<b>Tabla 85</b> <i>Costo de maquinaria para la línea de PET</i> .....	210
<b>Tabla 86</b> <i>Costo de maquinaria para la línea de PP y PEAD</i> .....	211
<b>Tabla 87</b> <i>Costo total de la maquinaria</i> .....	211
<b>Tabla 88</b> <i>Costo total de instalación y montaje de la maquinaria</i> .....	212
<b>Tabla 89</b> <i>Costo de equipos de transporte</i> .....	212
<b>Tabla 90</b> <i>Costo de mobiliario y equipos de oficina</i> .....	214
<b>Tabla 91</b> <i>Inversión de activos fijos intangibles</i> .....	216
<b>Tabla 92</b> <i>Capital de Trabajo</i> .....	218
<b>Tabla 93</b> <i>Mano de Obra Directa e Indirecta</i> .....	221
<b>Tabla 94</b> <i>Salario del personal de Mano de Obra Directa</i> .....	223
<b>Tabla 95</b> <i>Salario del personal de Mano de Obra Indirecta</i> .....	224
<b>Tabla 96</b> <i>Resumen de las Inversiones</i> .....	226
<b>Tabla 97</b> <i>Programa de Inversión del proyecto</i> .....	227
<b>Tabla 98</b> <i>Plan de Financiamiento</i> .....	229
<b>Tabla 99</b> <i>Estructura del financiamiento</i> .....	230
<b>Tabla 100</b> <i>Precio de las hojuelas de PET, PP y PEAD del 2025 al 2034</i> .....	232
<b>Tabla 101</b> <i>Pronósticos de Ingresos</i> .....	233
<b>Tabla 102</b> <i>Costo del agua de proceso</i> .....	235
<b>Tabla 103</b> <i>Costo del detergente</i> .....	236
<b>Tabla 104</b> <i>Costo de la soda caustica</i> .....	237
<b>Tabla 105</b> <i>Costo de los envases - sacos</i> .....	239

<b>Tabla 106</b> <i>Costo del transporte del producto</i> .....	241
<b>Tabla 107</b> <i>Costos de energía eléctrica estimados para el procesamiento del material PET</i> .....	244
<b>Tabla 108</b> <i>Costos de energía eléctrica estimados para el procesamiento del material PP</i> .....	245
<b>Tabla 109</b> <i>Costos de energía eléctrica estimados para el procesamiento del material PEAD</i> .....	246
<b>Tabla 110</b> <i>Costo total de energía eléctrica para el PET, PP y PEAD</i> .....	247
<b>Tabla 111</b> <i>Costo total de GLP para el PET, PP y PEAD</i> .....	249
<b>Tabla 112</b> <i>Resumen de Costos Directos</i> .....	251
<b>Tabla 113</b> <i>Costos indirectos y administrativos</i> .....	252
<b>Tabla 114</b> <i>Costos financieros</i> .....	253
<b>Tabla 115</b> <i>Resumen de ingresos y egresos por año</i> .....	255
<b>Tabla 116</b> <i>Cantidad de producción de hojuelas y Precio de Venta en general anuales</i>	259
<b>Tabla 117</b> <i>Costos fijos</i> .....	260
<b>Tabla 118</b> <i>Costos variables por año</i> .....	261
<b>Tabla 119</b> <i>Punto de Equilibrio para el año 2025</i> .....	262
<b>Tabla 120</b> <i>Ingresos Totales y Costos Totales por cantidad producida para el año 2025</i> .....	262
<b>Tabla 121</b> <i>Punto de equilibrio por años</i> .....	264
<b>Tabla 122</b> <i>Punto de equilibrio global</i> .....	266
<b>Tabla 123</b> <i>Ingresos Totales y Costos Totales por cantidad producida globalmente</i> .....	266
<b>Tabla 124</b> <i>Datos para el cálculo del costo de oportunidad del capital</i> .....	270

<b>Tabla 125</b> <i>Resultados del costo de oportunidad del capital</i> .....	272
<b>Tabla 126</b> <i>Depreciación de equipos y maquinaria</i> .....	274
<b>Tabla 127</b> <i>Flujo de Caja – Cash Flow</i> .....	277
<b>Tabla 128</b> <i>Valores para el cálculo del VANE</i> .....	282
<b>Tabla 129</b> <i>Valores para el cálculo del VANF</i> .....	284
<b>Tabla 130</b> <i>Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)</i> .....	286
<b>Tabla 131</b> <i>Relación beneficio / costo</i> .....	288

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Proyección de la población urbana en la provincia de Cusco del 2024 al 2034	19
<b>Figura 2</b> Proyección de la población urbana en la provincia de Cusco del 2024 al 2034	27
<b>Figura 3</b> Diagrama de flujo del canal corto de comercialización .....	54
<b>Figura 4</b> Ubicación de los distritos de San Sebastián, San Jerónimo y Poroy en la provincia del Cusco.....	62
<b>Figura 5</b> Tendencia de la producción total a lo largo de los años.....	77
<b>Figura 6</b> Diagrama de Bloques para el proceso del PET .....	108
<b>Figura 7</b> Diagrama de Bloques para los procesos de PP y PEAD .....	109
<b>Figura 8</b> Diagrama Cualitativo del Proceso de Producción de Hojuelas de PET reciclados .....	110
<b>Figura 9</b> Diagrama Cualitativo del Proceso de Producción de Hojuelas de PEAD reciclados .....	111
<b>Figura 10</b> Diagrama Cualitativo del Proceso de Producción de Hojuelas de PP reciclados .....	111
<b>Figura 11</b> Líneas de entrada y salida en la separación manual del PET .....	116
<b>Figura 12</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Saca Etiquetas del PET .....	117
<b>Figura 13</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Trommel del PET.....	119
<b>Figura 14</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Molino del PET.....	121
<b>Figura 15</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Lavado en caliente del PET .....	123
<b>Figura 16</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Enjuague del PET.....	125
<b>Figura 17</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Separador por Densidad del PET	127
<b>Figura 18</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Secador del PET.....	129

<b>Figura 19</b> Diagrama de Flujo de la Producción de hojuelas de PET .....	131
<b>Figura 20</b> Líneas de entrada y salida en la etapa de la clasificación manual del PP y PEAD .....	133
<b>Figura 21</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Molino del PP y PEAD .....	135
<b>Figura 22</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Lavado en caliente del PP y PEAD .....	138
<b>Figura 23</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Enjuague del PP y PEAD .....	141
<b>Figura 24</b> Líneas de entrada y salida en la etapa del Secado del PP y PEAD .....	143
<b>Figura 25</b> Diagrama de Flujo de la Producción de hojuelas de PP y PEAD.....	146
<b>Figura 26</b> Líneas de entrada y salida en el Proceso Global .....	147
<b>Figura 27</b> Diagrama de Flujo global para el proceso de hojuelas PET .....	149
<b>Figura 28</b> Diagrama de Flujo global para el proceso de hojuelas PP .....	149
<b>Figura 29</b> Diagrama de Flujo global para el proceso de hojuelas PEAD .....	149
<b>Figura 30</b> Esquema del Balance de Energías en la Lavadora en caliente .....	155
<b>Figura 31</b> Estructura organizativa del proyecto .....	174
<b>Figura 32</b> Diagrama de la etapa de recirculación de agua, de la zona del enjuague al lavado, en las 3 líneas .....	192
<b>Figura 33</b> Diagrama de la etapa de tratamiento de agua contaminada.....	194
<b>Figura 34</b> <i>Lugar Tentativo para la implementación de la planta recicladora</i> .....	206
<b>Figura 35</b> <i>Punto de Equilibrio para el año 2025</i> .....	263
<b>Figura 36</b> <i>Punto de Equilibrio global</i> .....	267

## **Capítulo I. Generalidades**

### **1.1. Objetivos del proyecto**

#### ***1.1.1. Objetivos generales***

Formular un estudio de prefactibilidad de una planta recicladora de plásticos en la provincia de Cusco, 2025.

#### ***1.1.2. Objetivos específicos***

- a. Desarrollar el estudio de mercado de la materia prima y de los productos.
- b. Establecer el tamaño y localización de la planta.
- c. Desarrollar la ingeniería del proyecto para una planta recicladora de plásticos para la provincia de Cusco.
- d. Determinar la viabilidad económica y financiera de la planta recicladora de plásticos.
- e. Determinar los aspectos ambientales y sociales asociados a la implementación de la planta recicladora de plásticos.

### **1.2. Justificación**

El estudio de prefactibilidad de una planta recicladora de plásticos en la provincia de Cusco responde a la necesidad urgente de abordar la crisis por contaminación por plásticos; así como, de promover el desarrollo económico y social sostenible en la región. El proyecto busca proporcionar soluciones concretas y prácticas para reducir los impactos negativos del plástico en el ambiente y en la sociedad, al mismo tiempo que ofrecerá oportunidades de crecimiento y prosperidad para las comunidades locales. Al final, esta investigación tiene como propósito evaluar la implementación

de una planta recicladora de plásticos y contribuir a la construcción de un futuro más sostenible y resiliente para las generaciones presentes y futuras del Cusco en cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

El estudio de prefactibilidad de una planta recicladora de plásticos en la provincia de Cusco representa una oportunidad para impulsar el desarrollo económico local. El reciclaje de plásticos puede generar empleo en diversas etapas del proceso, desde la recolección y clasificación de los materiales hasta la operación y mantenimiento de la planta. Además, la producción y comercialización de productos reciclados puede diversificar la economía local y contribuir a la generación de ingresos para las comunidades involucradas en el proyecto.

El proyecto de prefactibilidad de una planta recicladora de plásticos también debe tener un impacto social significativo. La creación de empleo en el sector del reciclaje proporciona oportunidades de trabajo digno para poblaciones vulnerables, como trabajadores informales o desempleados. Además, el fomento de la educación ambiental y la sensibilización sobre la importancia del reciclaje promueve una ciudadanía más consciente y comprometida con la protección del ambiente.

Desde una perspectiva ambiental, la implementación de una planta recicladora de plásticos en la provincia de Cusco es crucial para abordar la creciente crisis de contaminación por plásticos.

El reciclaje de estos materiales reduce la cantidad de desechos plásticos que terminan en vertederos o en el ambiente, disminuyendo así la contaminación del suelo, agua, aire y el ingreso de micro plásticos a la cadena alimentaria. Además, la reutilización de plásticos contribuye a la conservación de recursos naturales y a la mitigación del cambio climático al reducir la necesidad de materias primas vírgenes y la emisión de gases de efecto invernadero asociados con su producción.

El enfoque metodológico de esta investigación se basará en un análisis de la viabilidad técnica, económica y ambiental de establecer una planta recicladora de plásticos en la provincia de Cusco. Se emplearán métodos cuantitativos para recopilar y analizar datos sobre la disponibilidad de materia prima, la demanda de productos reciclados, los costos de inversión y operación, así como los impactos ambientales del proyecto.

### **1.3. Aspectos administrativos**

La gestión administrativa del proyecto de reciclaje de plásticos PET, PP y PEAD es fundamental para garantizar su viabilidad técnica, económica y ambiental.

A continuación, se detallan los componentes clave que estructuran la administración del proyecto:

#### ***1.3.1. Planificación del Proyecto***

El presente proyecto contempla la fase de preinversión, correspondiente al nivel de prefactibilidad, la cual abarca la realización de estudios de mercado, análisis técnicos, ambientales, sociales y financieros, con el fin de evaluar preliminarmente la viabilidad de la instalación de la planta recicladora de plásticos.

#### ***1.3.2. Organización del Proyecto***

Se establecerá una estructura organizacional funcional, compuesta por:

**Gerencia General:** responsable de la dirección estratégica y toma de decisiones.

**Área de Producción:** encargada de la operación de maquinaria y control de procesos.

**Área Financiera y Contable:** gestiona aspectos financieros, contables y legales.

**Área Comercial:** desarrolla estrategias de marketing y ventas.

**Área Administrativa y de Recursos Humanos:** maneja la contratación, capacitación y bienestar del personal.

**Área SSOMA (Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente):** se encarga de prevenir accidentes laborales, proteger la salud de los trabajadores y mitigar impactos ambientales. (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo., 2012)

**Área de Servicios Tercerizados:** Esta área gestiona la contratación y supervisión de empresas externas (outsourcing) para servicios como limpieza, seguridad o transporte, asegurando calidad, cumplimiento legal y eficiencia operativa.

Esta estructura permitirá una gestión eficiente y una comunicación fluida entre las diferentes áreas del proyecto.

### ***1.3.3. Finanzas del Proyecto***

El financiamiento del proyecto se estructurará considerando:

**Inversión inicial:** adquisición de maquinaria, adecuación de infraestructura y capital de trabajo.

**Fuentes de financiamiento:** capital propio y préstamos bancarios.

**Proyecciones financieras:** se elaborarán estados financieros proyectados, análisis de punto de equilibrio y evaluación de indicadores como el VAN y el TIR para determinar la rentabilidad del proyecto.

### ***1.3.4. Recursos Humanos***

El éxito del proyecto dependerá en gran medida del equipo humano, por lo que se considerará:

**Contratación de personal calificado:** operadores de maquinaria, técnicos de mantenimiento, personal administrativo y comercial.

**Capacitación continua:** programas de formación en técnicas de reciclaje, seguridad laboral y gestión ambiental.

**Políticas de bienestar:** implementación de medidas que promuevan un ambiente laboral saludable y motivador.

### ***1.3.5. Logística y Abastecimiento***

La eficiencia logística será clave para el funcionamiento del proyecto:

**Abastecimiento de materia prima:** establecimiento de alianzas con las municipalidades para la recolección de residuos plásticos domiciliarios.

**Gestión de inventarios:** implementación de sistemas para el control y almacenamiento adecuado de materiales.

**Distribución del producto final:** desarrollo de canales de distribución eficientes para llegar al mercado objetivo.

## **Capítulo II. Estudio de mercado**

### **2.1. Descripción, características y usos**

#### ***2.1.1. Descripción del Proyecto***

El proyecto tiene como objetivo principal el reciclaje de residuos plásticos domésticos, específicamente aquellos compuestos por PET, PP y PEAD. A partir de estos residuos plásticos, se desarrollará un proceso de transformación para la obtención de hojuelas recicladas, un insumo clave en la fabricación de nuevos productos.

El producto final, hojuelas de plástico reciclado, será comercializado a empresas que producen nuevos artículos plásticos, tanto de uso industrial como doméstico. Este enfoque no solo permite dar un valor agregado a residuos antes desechados, sino también promueve la economía circular, minimizando la extracción de recursos vírgenes y reduciendo la huella ambiental de la producción plástica convencional.

#### ***2.1.2. Importancia del reciclaje***

El reciclaje de plásticos es una de las estrategias clave para abordar el grave problema ambiental del exceso de residuos plásticos en el planeta. Según un informe de la OECD (2022), la cantidad de residuos plásticos generados a nivel global se ha incrementado de manera alarmante en las últimas décadas, y actualmente, menos del 10% de estos residuos se reciclan efectivamente. Este bajo porcentaje refleja una oportunidad perdida en términos de conservación de recursos naturales y reducción de la contaminación ambiental.

Uno de los principales beneficios del reciclaje es su capacidad para reducir la contaminación plástica. Los plásticos mal gestionados terminan frecuentemente en vertederos, océanos y otros ecosistemas naturales, donde tardan siglos en descomponerse, afectando gravemente la fauna y flora; además, de liberar sustancias tóxicas que alteran el equilibrio ecológico. Según la Fundación World Economic Forum (2016), se estima que para 2050, habrá más plástico que peces en los océanos si no se toman medidas urgentes. La implementación de procesos de reciclaje permite reducir la cantidad de plástico que se desecha, contribuyendo significativamente a la limpieza de los entornos naturales.

El reciclaje de materiales plásticos, como el PET, PP y PEAD, evita la extracción de recursos vírgenes como el petróleo y el gas natural, teniendo en cuenta que, cuya extracción y procesamiento tienen un alto costo ambiental. Por ejemplo, la producción de una tonelada de PET virgen consume 1,6 toneladas de petróleo y emite 6 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En comparación, la utilización de PET reciclado reduce estas emisiones y el uso de recursos, haciendo que el ciclo de vida del plástico sea mucho más sostenible (Plasticseurope, 2023).

El reciclaje de plásticos no solo reduce la cantidad de residuos y la contaminación, sino que también ahorra energía. Fabricar productos a partir de plásticos reciclados requiere, generalmente, menos energía que producirlos a partir de materiales vírgenes. Por ejemplo, reciclar PET ahorra aproximadamente un 75% de la energía que se utilizaría para fabricar PET virgen. Este ahorro energético se traduce en menores emisiones de gases de efecto invernadero, lo que ayuda a mitigar el cambio climático.

La recuperación de residuos plásticos para su reciclaje genera nuevas oportunidades de negocio, crea puestos de trabajo en la recolección, clasificación y procesamiento de los residuos, y fomenta la innovación en nuevos productos y procesos más sostenibles. Según un informe de la

Fundación Ellen MacArthur (2016), el sector del reciclaje de plásticos tiene el potencial de generar más de 2 millones de empleos en Europa para 2030, lo que demuestra el impacto económico positivo del reciclaje a nivel global (World Economic Forum, 2016).

El reciclaje de plásticos también juega un papel clave en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. En particular, contribuye directamente al ODS 12: "Producción y consumo responsables", al reducir la generación de residuos y promover la utilización eficiente de los recursos. Además, al disminuir la contaminación y los impactos ambientales, el reciclaje también apoya el ODS 13: "Acción por el clima", al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de plásticos vírgenes.

Finalmente, el reciclaje de plásticos también tiene implicaciones positivas para la salud humana. Los plásticos que no se gestionan adecuadamente, al descomponerse en el medio ambiente, pueden liberar productos químicos tóxicos que contaminan los recursos hídricos y afectan a las cadenas alimentarias. Por ejemplo, los bisfenoles y ftalatos, que son aditivos comunes en algunos plásticos, han sido relacionados con efectos adversos sobre la salud humana, como problemas hormonales, alteraciones en el sistema nervioso y riesgo de cáncer. Al reciclar adecuadamente los plásticos, reducimos el riesgo de exposición a estos compuestos peligrosos (Fychtech, 2024).

### ***2.1.3. Definición de la Materia Prima y el Producto***

La materia prima consiste en residuos plásticos post-consumo de tipo doméstico recolectados en la provincia del Cusco. Estos residuos corresponden principalmente a tres tipos de polímeros: polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP) y polietileno de alta densidad (PEAD). Son recolectados en estado sólido y mezclado, con presencia de impurezas como etiquetas, residuos orgánicos, tierra y otros materiales no reciclables (Hopewell et al., 2009).

Estos residuos provienen de botellas de bebidas, envases de productos de limpieza, envases de alimentos, bidones, tapones, entre otros elementos de uso cotidiano. La selección y acopio se realiza de manera manual en la planta ubicada en la ciudad del Cusco, donde también se lleva a cabo el proceso de clasificación, molienda, lavado y secado (Hopewell et al., 2009).

El producto resultante del proceso son las hojuelas plásticas limpias y secas de PET, PP y PEAD, cada una debidamente separada por tipo de polímero. Estas hojuelas cumplen condiciones óptimas de limpieza y tamaño para ser utilizadas como materia prima secundaria por industrias recicladoras o transformadoras ubicadas principalmente en la ciudad de Lima, donde existe una mayor concentración de demanda industrial para la manufactura de nuevos productos plásticos.

Por tanto, la cadena de valor se inicia en Cusco, con la recolección y procesamiento de residuos plásticos, y culmina en Lima, con la comercialización de un insumo reciclado que contribuye a la economía circular y la reducción del uso de plásticos vírgenes.

#### ***2.1.4. Residuos Plásticos Domiciliarios en la Provincia del Cusco***

En la provincia del Cusco, los residuos plásticos domiciliarios provienen mayormente de productos de uso cotidiano, como envases, botellas y bolsas, que son descartados en el hogar. Estos plásticos incluyen aquellos que se utilizan para empaques de alimentos, productos de limpieza y bebidas. La gestión adecuada y el reciclaje de estos plásticos son cruciales para reducir la acumulación de residuos en la región, debido a la limitada infraestructura de reciclaje y la presencia de plásticos de un solo uso.

A continuación, en la tabla N° 1, se muestran los ejemplos específicos de residuos plásticos domiciliarios que se pueden procesar en un molino dentro del proyecto de reciclaje. El cuadro está subdividido según los tres tipos de plásticos más comunes en los residuos domésticos: PET, PP y

PEAD. Estos plásticos son ideales para el proceso de trituración y molienda debido a su rigidez y facilidad de manejo.

**Tabla 1**

*Ejemplos de Residuos plásticos procesables*

<b>Plástico</b>	<b>Ejemplos en Residuos Domiciliarios Procesables</b>
PET (Tereftalato de Polietileno)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Botellas de plástico PET de bebidas (agua, refrescos, jugos).</li> <li>- Envases plásticos de productos alimenticios como mayonesa, salsas, aceites.</li> <li>- Bandejas de plástico PET para comida para llevar (como las de frutas y ensaladas).</li> </ul>
PP (Polipropileno)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tapas de botellas PET (normalmente de color y plástico rígido).</li> <li>- Envases de yogurt, crema, margarina y otros productos lácteos.</li> <li>- Bandejas y envases desechables de plástico (como los de carnes o verduras).</li> </ul>
PEAD (Polietileno de Alta Densidad)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Botellas de detergentes líquidos y productos de limpieza (como jabón para platos).</li> <li>- Envases de leche y jugos (botellas rígidas).</li> <li>- Tinajas de plástico para almacenamiento de alimentos o productos de limpieza.</li> </ul>

**Fuente:** (Bataineh, K. M., 2020)

### **2.1.5. Usos del Producto: Hojuelas de Plástico Reciclado (PET, PP y PEAD)**

El producto principal del proyecto es la hojuela o escama plástica reciclada, obtenida tras un proceso de clasificación, molienda, lavado y secado de residuos domiciliarios. Estas hojuelas se convierten en materia prima para diversas industrias que las reintroducen en sus cadenas productivas, lo cual contribuye a una economía circular y a la reducción del impacto ambiental.

Las hojuelas de PET reciclado son ampliamente utilizadas para la fabricación de nuevos productos plásticos, como:

- Preformas para botellas no alimentarias (aceite, detergentes).
- Fibras textiles (polares, alfombras, cuerdas, mochilas).

- Láminas para envases, blísters y bandejas termoformadas.
- Material para impresión 3D.

(Plastics Technology México, 2023; Ecoembes, 2023).

Las hojuelas de PP reciclado se emplean principalmente en:

- Inyección de piezas plásticas como tachos, tinas, cajas, muebles, perillas o tapas.
- Fabricación de electrodomésticos pequeños y componentes automotrices.
- Contenedores reutilizables no alimentarios.
- Accesorios escolares o domésticos moldeados por soplado o inyección.

Las hojuelas de PEAD reciclado tienen un uso muy extendido en:

- Botellas rígidas para productos de limpieza, aceites industriales o lubricantes.
- Tuberías de baja presión y conductos eléctricos.
- Bolsas plásticas rígidas reutilizables o contenedores industriales.
- Tapas, bidones, juguetes, muebles y otros productos plásticos inyectados.

(Plasticseurope, 2023; Ministerio del Ambiente del Perú, 2021).

Estas aplicaciones demuestran que la hojuela reciclada es un insumo estratégico para múltiples sectores industriales que buscan materiales más sostenibles sin comprometer la funcionalidad de sus productos.

## **2.2. Estudio de la Demanda y Oferta de la materia prima**

En esta sección se analiza la demanda existente de la materia prima (residuos plásticos reciclables de origen domiciliario). El objetivo es identificar la disponibilidad de residuos plásticos que podrían ser recolectados y procesados en la provincia del Cusco. Este análisis permitirá

determinar si existe una oportunidad real y sostenible para implementar el proyecto de reciclaje propuesto.

### **2.2.1. Demanda de la Materia Prima**

En la provincia del Cusco, la demanda de plásticos reciclables como PET, PP y PEAD ha ido en aumento debido al surgimiento de emprendimientos y empresas dedicadas a la valorización de residuos sólidos. Aunque aún no existe una industria de reciclaje a gran escala (250 a 1000 TM mensuales) en la región, sí se desarrolla una actividad constante de acopio y tratamiento a menor escala, promovida por iniciativas privadas y colaboraciones con gobiernos locales.

Durante el trabajo de campo realizado, se identificaron dos empresas como las principales demandantes de materia prima plástica reciclable en la provincia del Cusco:

#### **2.2.1.1. Centro de acopio San Antonio**

Esta empresa ubicada en el distrito de San Sebastián recolecta residuos plásticos principalmente mediante recolectores informales que operan en el botadero de Jaquira, el principal sitio de disposición final de residuos sólidos en el Cusco, y recolectores independientes, todos ellos venden los plásticos a San Antonio.

Mediante la técnica de la entrevista realizada en campo a operadores en San Antonio y usando como instrumento un cuestionario de preguntas (Ver Apéndice N° 1), se logró determinar que, recolectan entre 40 y 50 TM mensuales aproximadamente, y mencionan que no se le hace un tratamiento, sólo el material plástico es prensado, y posterior venta. Resaltar que personal no dio el alcance del costo de venta del plástico prensado. Mencionaron también que, la separación la hacen de la siguiente manera: residuos PET y plástico duro (sin una sub clasificación).

### **2.2.1.2. Cusco Recicla**

También llamado Programa Qosqo Recicla, impulsado por la Municipalidad Provincial del Cusco a través de su Gerencia de Medio Ambiente, tiene como objetivo principal fomentar una cultura medioambiental y reducir la generación de residuos sólidos en la ciudad. Este programa se centra en la recolección y acopio de residuos plásticos en los cinco distritos principales de la ciudad: San Jerónimo, San Sebastián, Santiago, Wánchaq y Cusco.

La estrategia del programa incluye visitas domiciliarias realizadas por promotores ambientales, quienes, acompañados de recicladores formales, sensibilizan a la población sobre la importancia de la segregación adecuada de los desechos desde la fuente. Estas acciones se llevan a cabo en diversos sectores de la zona Noroccidental, Noreste, Centro Histórico y comunidades del distrito, con el fin de empadronar a las viviendas e invitar a las familias a asumir el compromiso de separar sus residuos sólidos adecuadamente (Municipalidad Provincial del Cusco, 2023).

Del mismo modo, se hizo una entrevista al personal de Cusco Recicla, y se obtuvo que la cantidad de residuos plásticos que manejan es de 1 a 2 toneladas métricas semanales (4 a 8 TM mensuales). Una vez recolectados, los residuos plásticos son transportados a una planta prensadora ubicada en la provincia de Anta. Es importante destacar que en esta planta no se realiza un procesamiento del plástico, sino únicamente su prensado para facilitar su posterior comercialización.

Estas empresas representan la base actual de la demanda de materia prima reciclable en la región, y evidencian la existencia de un ecosistema en crecimiento para el desarrollo de iniciativas sostenibles en la gestión de residuos sólidos.

### **2.2.1.3. Cantidad de Residuos Plásticos domiciliarios PET, PP y PEAD demandados en la Provincia del Cusco**

Para tener una estimación de la cantidad de residuos domiciliarios demandados en la provincia del Cusco por tipo de plástico, se realizó la técnica de toma de datos en campo el mes de octubre del 2024, la cual constó de lo siguiente:

Se tomaron 10 muestras de diferentes cantidades de plásticos del almacén de acopio en la empresa San Antonio, de los cuales, clasificamos manualmente entre los 3 tipos de plásticos en interés, PET, PP y PEAD, los cuales aún contenían las etiquetas, tapas, argollas de las tapas, pero quitando piedras, papeles y desechos irrelevantes, los datos son mostrados en la Tabla N° 2.

Como envases PET se encontraron botellas de bebidas, frascos de productos comestibles, empaques termoformados como juguetes, entre otros.

Como envases PP, envases de alimentos, tapas de botellas sueltas, cubiertos, vasos y platos descartables, baldes, entre otros.

Como envases PEAD, envases de productos de limpieza, envases de productos de belleza, botellas de yogurt, entre otros.

Con los datos obtenidos, se hizo una estimación de la composición, cuánto de PET, PP y PEAD manejaban las empresas San Antonio y Cusco Recicla, mostrados en la Tabla N° 3.

**Tabla 2**

*Toma de datos de muestras de plásticos seleccionados en el Centro de Acopio San Antonio*

<b>Muestra</b>	<b>PET (Kg)</b>	<b>PP (Kg)</b>	<b>PEAD (Kg)</b>	<b>Total (Kg)</b>
<b>1</b>	3.24	0.86	0.76	4.86
<b>2</b>	1.84	0.65	0.95	3.44
<b>3</b>	2.59	0.91	1.25	4.75
<b>4</b>	1.42	0.71	0.81	2.94
<b>5</b>	2.13	0.81	0.71	3.65
<b>6</b>	1.52	0.71	0.86	3.09
<b>7</b>	2.13	0.62	0.71	3.46
<b>8</b>	2.08	0.76	0.86	3.70
<b>9</b>	1.89	0.91	1.11	3.91
<b>10</b>	2.89	1.53	0.85	5.27
<b>Total</b>	21.73	8.47	8.87	39.07

**Tabla 3**

*Composición del Plástico demandado en la Provincia del Cusco*

<b>Tipo de Plástico</b>	<b>Cantidad (Kg)</b>	<b>Porcentaje (%p/p)</b>
<b>PET</b>	21.73	55.62
<b>PP</b>	8.47	21.68
<b>PEAD</b>	8.87	22.70
<b>Total</b>	39.07	100.00

Con estos resultados, se estimó la cantidad de plásticos que maneja la empresa San Antonio, y los mismos datos fueron tomados para la estimación de la cantidad de plásticos que maneja Cusco Recicla, en toneladas métricas por año (TM/año) sumando las cantidades de las dos empresas, mostrados en la Tabla N° 4.

**Tabla 4**

*Cantidad de Residuos Plásticos PET, PEAD y PP demandados en la Provincia del Cusco*

<b>Tipo de Plástico</b>	<b>Cantidad (TM/año)</b>
<b>PET</b>	362.4796
<b>PEAD</b>	139.1644
<b>PP</b>	142.3560
<b>TOTAL</b>	<b>644.0000</b>

Se consideró estas cantidades como constantes durante los siguientes 10 años de vida útil del proyecto, puesto que las empresas no manejaban una base de datos histórico de las cantidades con las que trabajaban.

### **2.2.2. Oferta de la Materia Prima**

El estudio de la oferta de la materia prima tiene como finalidad determinar la cantidad disponible de materiales reciclables, en este caso, residuos plásticos domiciliarios como PET, PP y PEAD, que podrían ser aprovechados por el proyecto dentro de un área geográfica determinada. Para ello, se analizó la generación de residuos en función de la población proyectada, el índice per cápita de generación y la proporción de residuos que corresponde a cada tipo de plástico. Este análisis permite estimar la disponibilidad anual futura de materia prima, evaluar su evolución en el tiempo y sustentar la viabilidad del abastecimiento para el proceso productivo.

#### **2.2.2.1. Proyección de la Población en la Provincia del Cusco**

Para estimar la generación potencial de residuos plásticos domiciliarios, se proyectó la población de la provincia del Cusco a partir de los datos censales oficiales de los años 2007 y 2017,

proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), mostrados en la Tabla N° 5. Con estos datos se calculó la tasa de crecimiento intercensal, que fue utilizada para proyectar la población a años posteriores, permitiéndonos obtener una base estimada sobre la cual cuantificar la generación de residuos sólidos domiciliarios. Esta proyección constituye un insumo fundamental para evaluar la disponibilidad de materia prima para el proceso de reciclaje. La proyección por extrapolación de tasas usando el dato de tasa intercensal, se realizó hasta el año 2034, teniendo en cuenta la vida útil de 10 años de la planta, iniciando en el 2025.

**Tabla 5**

*Población urbana en los años 2007 y 2017 en la provincia del Cusco*

<b>POBLACION URBANA (HAB)</b>		
<b>Distritos</b>	<b>Población (2007)</b>	<b>Población (2017)</b>
<b>Cusco</b>	106,400	111,930
<b>Ccorca</b>	629	587
<b>Poroy</b>	961	1,410
<b>San Jerónimo</b>	29,678	55,335
<b>San Sebastián</b>	72,281	110,817
<b>Santiago</b>	81,442	92,729
<b>Saylla</b>	1,255	3,310
<b>Wánchaq</b>	59,134	58,541

*Fuente: INEI, (2018)*

Para el cálculo de la tasa intercensal, se utilizó la siguiente ecuación:

$$TC = 100 * \left( \sqrt[n]{\frac{P_f}{P_i}} - 1 \right) \quad (1)$$

Donde:

*TC*: Tasa de crecimiento poblacional (Tasa intercensal)

$P_f$ : Población final (año “i+ n”)

$P_i$ : Población inicial (año “i”)

$n$ : número de años existentes entre la cantidad de población final e inicial, al ser del 2007 al 2017, se consideran 10 años como valor de  $n$ .

Por lo que, al reemplazar en la ecuación N° 1 se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 6**

*Valores de la Tasa Intercensal para los distritos de la Provincia del Cusco*

<b>Distrito</b>	<b>Tasa Intercensal de crecimiento</b>
<b>Cusco</b>	0.5080
<b>Ccorca</b>	-0.6887
<b>Poroy</b>	3.9081
<b>San Jerónimo</b>	6.4282
<b>San Sebastián</b>	4.3658
<b>Santiago</b>	1.3064
<b>Saylla</b>	10.1840
<b>Wánchaq</b>	-0.1007

Con los datos de Tasa intercensal, podemos realizar la proyección de habitantes en los siguientes años, realizando el uso de la siguiente ecuación:

$$P_f = P_i + \frac{P_i * TC}{100} \quad (2)$$

Donde:

$P_f$ : Población final (año “i+1”)

$P_i$ : Población inicial (año “i”)

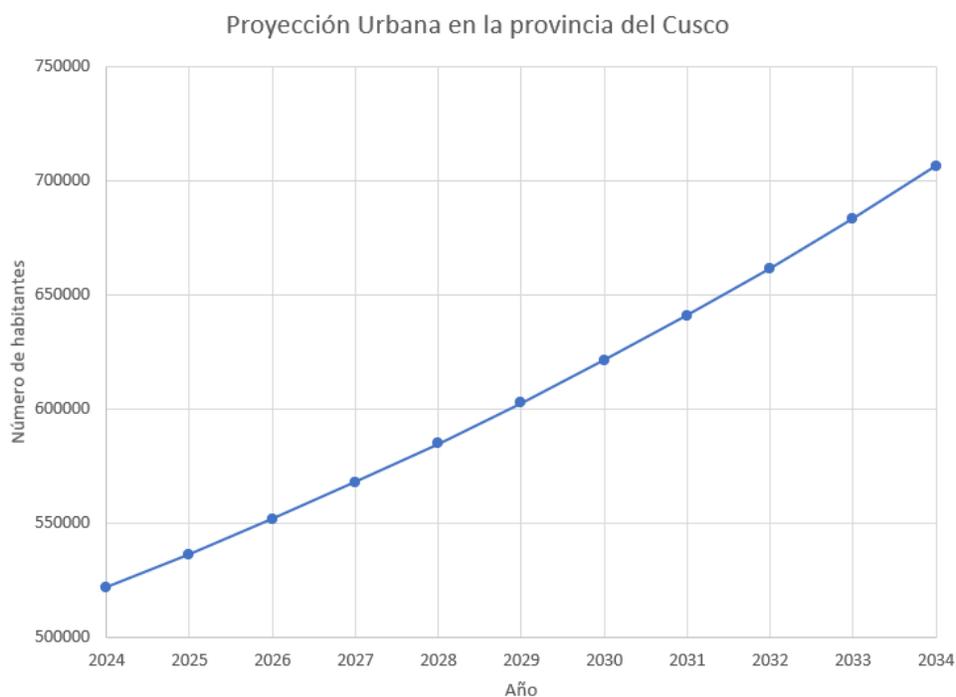
$TC$ : Tasa intercensal (de acuerdo al distrito perteneciente)

La ecuación N° 2 resulta despejando la variable  $P_f$  de la ecuación N° 1 y considerando el valor de  $n$  como 1, ya que la proyección se realizará de año en año, iniciando del año 2018 en adelante.

En la tabla N° 8 se muestran los resultados de las proyecciones, hasta el año 2034, ya que en el presente proyecto se usan los datos del 2025 en adelante, y gráficamente en la Figura N° 1.

### Figura 1

*Proyección de la población urbana en la provincia de Cusco del 2024 al 2034*



#### 2.2.2.2. Cantidad de Residuos Sólidos domiciliarios generados en la provincia del Cusco

La cantidad de materia prima proyectada hace referencia a la estimación del volumen de residuos plásticos de uso domiciliario que estarán disponibles en la provincia del Cusco durante el horizonte del proyecto.

➤ **Generación per cápita de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Provincia del Cusco**

Para la estimación de la cantidad de residuos sólidos de origen domiciliario en la provincia del Cusco, se proyecta la generación per cápita hasta el año 2034, en la tabla N° 7 se muestran los datos de la generación per cápita en el 2024.

**Tabla 7**

*Generación per cápita de Residuos Sólidos Domiciliarios por Distrito*

<b>Distrito</b>	<b>Generación Per Cápita de Residuos Sólidos en el año 2024</b>
Cusco	0.46
Ccorca	0.44
Poroy	0.47
San Jerónimo	0.50
San Sebastián	0.58
Santiago	0.54
Saylla	0.40
Wanchaq	0.40

*Fuente: (Ministerio del Ambiente de Perú, 2024)*

➤ **Proyección de la generación per cápita de residuos sólidos**

La proyección de la generación per cápita se realizó con la ecuación N° 3.

$$GPC_t = GPC_0 * (1 + r)^t \quad (3)$$

Donde:

$GPC_t$ : Generación Per Cápita en el año t.

$GPC_0$ : Generación Per Cápita inicial.

$r$ : tasa de crecimiento – elasticidad.

$t$ : cantidad de años que han pasado.

Es un modelo de crecimiento exponencial. Supone que la cantidad (en este caso, la generación per cápita de residuos sólidos) aumenta proporcionalmente a su valor actual cada año (Patel & Meka, 2007).

➤ **Elasticidad de la generación per cápita de residuos sólidos**

La elasticidad de residuos respecto al Producto Bruto Interno (PBI) per cápita mide en promedio el cambio porcentual en la generación per cápita de residuos cuando el PBI per cápita varía en 1 % (Hassan Shah, 2023).

El PBI per cápita mide el ingreso promedio por persona en una economía. Se usa como indicador del nivel de vida o del desarrollo económico de un país. Ayuda a comparar países o regiones, independientemente de su tamaño poblacional.

Para hallar la constante de elasticidad de la generación per cápita de residuos sólidos, primero se proyecta el PBI per cápita, se tienen los datos en la tabla N° 8 de los años 2015 al 2024.

**Tabla 8**

*PBI per cápita anual en Perú*

<b>Año</b>	<b>PBI per cápita (USD)</b>
2015	6,672.00
2016	6,334.00
2017	6,393.00
2018	6,918.00
2019	7,137.00
2020	7,184.00
2021	6,279.00
2022	6,822.00

<b>Año</b>	<b>PBI per cápita (USD)</b>
2023	7,307.00
2024	7,902.00

**Fuente:** (World Bank WDI and Haver Analytics databases, 2024)

La proyección usada fue la de índices de crecimiento.

Se consideró la ecuación N° 4 para el cálculo del índice parcial de crecimiento:

$$I_0 = \frac{B - A}{A} \quad (4)$$

Donde:

$I_0$ : Índice de crecimiento inicial

$A$ : Primer dato de la base de datos

$B$ : Segundo dato de la base de datos

Haciendo uso de la ecuación previa, se reemplazaron los valores de PBI per cápita del año 2015 al 2024, teniendo 9 índices de crecimiento parcial, los resultados se muestran en la Tabla N° 9.

**Tabla 9**

*Índices de crecimiento parciales para el PET y PP*

<b>Año</b>	<b>PBI per cápita</b>	<b>Índice de crecimiento parcial</b>
2015	6672	
2016	6334	-0.051
2017	6393	0.009
2018	6918	0.082
2019	7137	0.032
2020	7184	0.007
2021	6279	-0.126
2022	6822	0.086
2023	7307	0.071
2024	7902	0.081

A continuación, se realizó el promedio de los índices hallados anteriormente con la ecuación N° 5:

$$I = \frac{I_0 + I_1 + I_2 + \dots}{N} \quad (5)$$

Donde:

$I$  : Índice de crecimiento

$I_0$ : Índice de crecimiento inicial

$I_1$ : Índice de crecimiento número 1

$I_2$ : Índice de crecimiento número 2

$N$ : Número de datos índices determinados, en este caso son 9.

Reemplazando los datos de los índices de crecimiento parcial, se obtuvo el índice de crecimiento para el PBI per cápita, mostrados en Tabla N° 10.

**Tabla 10**

*Índice de Crecimiento para el PBI per cápita*

Detalle	Índices de crecimiento parciales	Índice de Crecimiento (IC)
$I_0$	-0.051	
$I_1$	0.009	
$I_2$	0.082	
$I_3$	0.032	
$I_4$	0.007	<b>0.0192</b>
$I_5$	-0.126	
$I_6$	0.086	
$I_7$	0.071	
$I_8$	0.081	

Teniendo el índice de crecimiento, se usó la ecuación siguiente:

$$PBI_f = PBI_i * IC + PBI_i \quad (6)$$

Donde:

$PBI_f$ : PBI per cápita final

$PBI_i$ : PBI per cápita inicial

$IC$ : Índice de Crecimiento

Por lo que, al reemplazar los valores de la tabla N° 9 para el año 2024 y la Tabla N° 10 el valor de 0.0192 en la ecuación N° 6, se obtienen los valores proyectados mostrados en la tabla N° 11.

**Tabla 11**

*Proyección del PBI per cápita del 2025 al 2034*

<b>Año</b>	<b>PBI per cápita proyectado (USD)</b>
2025	8053.75
2026	8208.42
2027	8366.06
2028	8526.73
2029	8690.48
2030	8857.37
2031	9027.48
2032	9200.84
2033	9377.54
2034	9557.63

➤ **Nivel de Ingreso del País**

Según el banco Mundial, los países se clasifican por el índice PBI per cápita, en lo siguiente:

Bajo ingreso:  $\leq 1,135$  USD

Ingreso medio-bajo: 1,136 – 4,495 USD

Ingreso medio-alto: 4,496 – 13,935 USD

Alto ingreso:  $\geq 13,936$  USD (The World Bank Group, 2024).

- Según los valores en la Tabla N° 11, Perú se clasifica como un país con ingreso medio-alto.

La elasticidad del crecimiento de la Generación Per cápita de Residuos Sólidos se considera de acuerdo al nivel de ingreso del país, en la tabla N° 12, se muestra los valores de elasticidad por cada 1% de incremento del PBI per cápita.

**Tabla 12**

*Nivel de ingreso del país*

<b>Nivel de ingreso del país</b>	<b>Elasticidad residuos/PIB (%)</b>
Bajo ingreso	0.3 – 0.5
Ingreso medio	0.6 – 0.8
Ingreso alto	0.9 – 1.1

Fuente: (The World Bank Group, 2024)

Como el país se considera de ingreso medio-alto, se asume un valor de 0.8% de elasticidad por cada 1% de incremento del PBI per cápita.

De la tabla N° 10, se tiene que, el incremento real del PBI per cápita es de 1.92%. Por lo que, la elasticidad real se obtiene de la siguiente relación:

$$1\% \text{ ---- } 0.8\%$$

$$1.92\% \text{ ---- } X$$

Donde X, es el índice de elasticidad real para la proyección de la Generación Per cápita de Residuos Sólidos; resultando 1.5364%. Lo que indica que, por cada 1.92% de incremento de

PBI per cápita, la elasticidad de la Generación Per cápita de residuos sólidos incrementa en un 1.5364%.

Entonces, reemplazando los valores en la ecuación N° 3, teniendo en consideración que,  $r = 1.5364\%$ , los resultados se presentan en la Tabla N° 13.

**Tabla 13**

*Proyección de la Generación Per cápita de Residuos Sólidos domiciliarios*

Distrito	Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios (KG/DIA/HAB)										
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
<b>Cusco</b>	<b>0.460</b>	0.467	0.474	0.482	0.489	0.496	0.504	0.512	0.520	0.528	0.536
<b>Ccorca</b>	<b>0.440</b>	0.447	0.454	0.461	0.468	0.475	0.482	0.490	0.497	0.505	0.512
<b>Poroy</b>	<b>0.470</b>	0.477	0.485	0.492	0.500	0.507	0.515	0.523	0.531	0.539	0.547
<b>San Jerónimo</b>	<b>0.500</b>	0.508	0.515	0.523	0.531	0.540	0.548	0.556	0.565	0.574	0.582
<b>San Sebastián</b>	<b>0.580</b>	0.589	0.598	0.607	0.616	0.626	0.636	0.645	0.655	0.665	0.676
<b>Santiago</b>	<b>0.540</b>	0.548	0.557	0.565	0.574	0.583	0.592	0.601	0.610	0.619	0.629
<b>Saylla</b>	<b>0.400</b>	0.406	0.412	0.419	0.425	0.432	0.438	0.445	0.452	0.459	0.466
<b>Wanchaq</b>	<b>0.400</b>	0.406	0.412	0.419	0.425	0.432	0.438	0.445	0.452	0.459	0.466

Con el dato de generación per cápita por año, calculamos la cantidad de residuos sólidos generados en la Provincia del Cusco, en toneladas métricas y anuales, los resultados obtenidos se muestran en el Tabla N° 14, y gráficamente en la Figura N° 2.

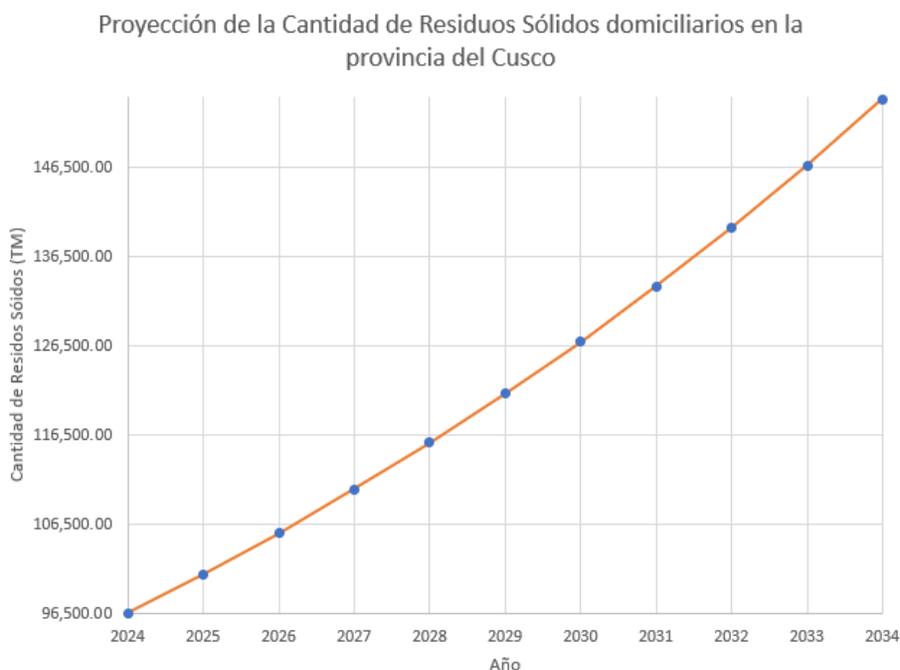
El análisis de las proyecciones de población y generación de residuos sólidos domiciliarios (RSD) para la provincia del Cusco entre los años 2024 y 2034 muestra una tendencia sostenida de crecimiento. Según las estimaciones, la población pasará de 521,643 habitantes en 2024 a 706,352 habitantes en 2034, lo que representa un incremento acumulado cercano al 35.3% en dicho periodo.

Este crecimiento demográfico se refleja directamente en la cantidad de residuos sólidos domiciliarios generados. Se estima que la generación pasará de 96,592.68 toneladas métricas en 2024 a 154,167.92 toneladas métricas en 2034, es decir, un aumento del 59.6%. Esta evolución paralela entre población y residuos permite anticipar una mayor presión sobre la infraestructura de gestión de residuos, así como una mayor disponibilidad de residuos valorizables, lo cual es clave para sustentar técnica y económicamente la implementación de una planta de reciclaje en la provincia.

El comportamiento ascendente de ambas variables evidencia la importancia de planificar soluciones sostenibles que permitan manejar adecuadamente este crecimiento, garantizando no solo la mitigación de impactos negativos, sino también la valorización eficiente de los residuos generados.

## Figura 2

*Proyección de la población urbana en la provincia de Cusco del 2024 al 2034*



**Tabla 14***Proyección de la Población Urbana por Distritos*

<b>Distrito</b>	<b>2007</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>...</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>
<b>Cusco</b>	106400	111930	112499	...	115972	116561	117153	117748	118346	118947	119551	120159	120769	121383	121999
<b>Ccorca</b>	629	587	583	...	560	556	552	548	545	541	537	533	530	526	522
<b>Poroy</b>	961	1410	1466	...	1845	1917	1991	2069	2150	2234	2321	2412	2506	2604	2706
<b>San Jerónimo</b>	29678	55335	58893	...	85585	91087	96942	103173	109805	116864	124376	132371	140880	149936	159574
<b>San Sebastián</b>	72281	110817	115656	...	149457	155982	162792	169899	177316	185057	193137	201568	210369	219553	229138
<b>Santiago</b>	81442	92729	93941	...	101549	102875	104219	105581	106960	108357	109773	111207	112660	114131	115622
<b>Saylla</b>	1255	3310	3648	...	6527	7191	7924	8730	9620	10599	11678	12868	14178	15622	17213
<b>Wanchaq</b>	59134	58541	58483	...	58130	58071	58013	57954	57896	57838	57779	57721	57663	57605	57547
<b>Total</b>	<b>353787</b>	<b>436676</b>	<b>447187</b>	<b>...</b>	<b>521649</b>	<b>536265</b>	<b>551612</b>	<b>567729</b>	<b>584666</b>	<b>602466</b>	<b>621182</b>	<b>640870</b>	<b>661587</b>	<b>683393</b>	<b>706355</b>

**Tabla 15***Cantidad de Residuos Sólidos domiciliarios proyectados en TM/año*

<b>Distrito</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>
<b>Cusco</b>	19471.70	19570.59	19669.99	19769.89	19870.29	19971.20	20072.61	20174.70	20277.12	20380.21	20483.63
<b>Ccorca</b>	89.94	89.29	88.65	88.01	87.53	86.88	86.24	85.60	85.12	84.48	83.83
<b>Poroy</b>	316.51	328.86	341.56	354.94	368.83	383.24	398.17	413.78	429.90	446.72	464.21
<b>San Jerónimo</b>	15619.26	16623.38	17691.92	18829.07	20039.41	21327.68	22698.62	24157.71	25710.60	27363.32	29122.26
<b>San Sebastián</b>	31094.53	32452.06	33868.88	35347.49	36890.59	38501.11	40182.15	41936.22	43767.27	45678.00	47672.16
<b>Santiago</b>	20015.31	20276.66	20541.56	20810.02	21081.82	21357.16	21636.26	21918.90	22205.29	22495.22	22789.10
<b>Saylla</b>	952.94	1049.89	1156.90	1274.58	1404.52	1547.45	1704.99	1878.73	2069.99	2280.81	2513.10
<b>Wanchaq</b>	16973.96	16956.73	16939.80	16922.57	16905.63	16888.70	16871.47	16854.53	16837.60	16820.66	16803.72
<b>TOTAL</b>	104534.15	107347.46	110299.25	113396.56	116648.63	120063.43	123650.51	127420.16	131382.88	135549.41	139932.01

### 2.2.2.3. Cantidad de Residuos Plásticos PET, PP y PEAD en la Provincia del Cusco

Para la estimación de la cantidad de Residuos Plásticos por tipo PET, PP y PEAD, se tiene como dato el porcentaje en volumen de los componentes de los residuos sólidos generados, del año 2019 al 2024, obtenidos de datos del Ministerio del Ambiente (MINAM), en el ANEXO N° 1 se muestra la composición de los residuos sólidos domiciliarios en la Provincia del Cusco, siendo de interés los datos específicos de los 3 tipos de plásticos, se muestran los datos en la Tabla N° 16.

**Tabla 16**

*Porcentaje de Generación de Residuos Plásticos en la Provincia del Cusco*

<b>Año</b>	<b>PET (%)</b>	<b>PEAD (%)</b>	<b>PP (%)</b>
<b>2019</b>	1.9259	1.3554	0.4185
<b>2020</b>	1.9228	1.3532	0.4178
<b>2021</b>	2.0786	1.2586	0.5800
<b>2022</b>	2.2072	1.2156	0.5258
<b>2023</b>	1.8360	1.1980	0.4000
<b>2024</b>	2.7763	1.1880	0.7525

*Fuente: Ministerio del Ambiente de Perú, (2024)*

A continuación, se realiza la proyección de los porcentajes de la generación de residuos plásticos por tipo, se utilizó el método de índice de crecimiento.

Se consideró la ecuación N° 4, donde se reemplazaron los valores de los Porcentajes de generación de residuos plásticos del año 2019 al 2024, teniendo 5 índices de crecimiento parcial para el PET, PP y PEAD, los resultados se muestran en la Tabla N° 17.

**Tabla 17***Índices de crecimiento parciales para el PET, PP y PEAD*

Año	% Generación de Residuos Plásticos (MINAM)			Índices de crecimiento parciales		
	PET	PEAD	PP	PET	PEAD	PP
<b>2019</b>	1.9259	1.3554	0.4185			
<b>2020</b>	1.9228%	1.3532%	0.4178%	-0.0016	-0.0016	-0.0016
<b>2021</b>	2.0786%	1.2586%	0.5800%	0.0810	-0.0699	0.3882
<b>2022</b>	2.2072%	1.2156%	0.5258%	0.0619	-0.0342	-0.0934
<b>2023</b>	1.8360%	1.1980%	0.4000%	-0.1682	-0.0145	-0.2393
<b>2024</b>	2.7763%	1.1880%	0.7525%	0.5122	-0.0083	0.8812

Es importante resaltar que, los índices de crecimiento negativos en la generación de residuos plásticos, específicamente para el PET, PEAD y el PP en los años 2020 y 2024, reflejan una disminución en la proporción de estos materiales respecto al año anterior. Esta tendencia puede explicarse por diversos factores, entre ellos la reducción del consumo debido a la pandemia de COVID-19 en 2020, que impactó el comercio y la movilidad urbana, disminuyendo así la generación de plásticos de un solo uso. Asimismo, en 2023, esta disminución podría estar relacionada con un mayor impulso de políticas ambientales, cambios en los hábitos de consumo, sustitución de materiales plásticos por opciones más sostenibles y un posible incremento en la recolección diferenciada o el reciclaje en la fuente, lo que reduce la cantidad de PET y PP que finalmente es reportada como residuo. No obstante, es importante considerar que el crecimiento poblacional continuo atenúa el efecto del decrecimiento, ya que a pesar de que los índices muestran

una reducción porcentual, en términos absolutos la generación de residuos puede mantenerse estable o incluso aumentar ligeramente.

A continuación, se realiza el promedio de los índices hallados considerando la ecuación N° 4, los resultados se muestran en la tabla N° 18.

**Tabla 18**

*Índice de Crecimiento para PET, PEAD y PP*

Detalle	Índices de crecimiento parciales (%)			Índice de Crecimiento, IC (%)		
	PET	PEAD	PP	PET	PEAD	PP
<b>I0</b>	-0.0016	-0.0016	-0.0016			
<b>I1</b>	0.0810	-0.0699	0.3882			
<b>I2</b>	0.0619	-0.0342	-0.0934	<b>0.0971</b>	<b>-0.0257</b>	<b>0.1870</b>
<b>I3</b>	-0.1682	-0.0145	-0.2393			
<b>I4</b>	0.5122	-0.0083	0.8812			

Teniendo los índices de crecimiento para el PET, PP y PEAD, proseguimos a realizar las proyecciones de los porcentajes de generación de residuos plásticos domiciliarios en la Provincia del Cusco para los 3 tipos de plástico, utilizando la ecuación N° 7:

$$P_f = P_i * IC + P_i \quad (7)$$

Donde:

$P_f$ : Porcentaje de Generación de residuos Plásticos final

$P_i$ : Porcentaje de Generación de residuos Plásticos inicial

$IC$ : Índice de Crecimiento

**Tabla 19**

*Porcentajes de generación de residuos plásticos PET, PP y PEAD proyectados en la provincia del Cusco*

<b>Porcentaje de Generación de Residuos Plásticos en la Provincia del Cusco</b>			
<b>Año</b>	<b>PET (%)</b>	<b>PEAD (%)</b>	<b>PP (%)</b>
<b>2019</b>	1.9259	1.3554	0.4185
<b>2020</b>	1.9228	1.3532	0.4178
<b>2021</b>	2.0786	1.2586	0.5800
<b>2022</b>	2.2072	1.2156	0.5258
<b>2023</b>	1.8360	1.1980	0.4000
<b>2024</b>	2.7763	0.9680	0.6825
<b>2025</b>	<b>3.0458</b>	<b>0.9076</b>	<b>0.7862</b>
<b>2026</b>	<b>3.3414</b>	<b>0.8509</b>	<b>0.9057</b>
<b>2027</b>	<b>3.6657</b>	<b>0.7978</b>	<b>1.0434</b>
<b>2028</b>	<b>4.0215</b>	<b>0.7480</b>	<b>1.2020</b>
<b>2029</b>	<b>4.4118</b>	<b>0.7013</b>	<b>1.3848</b>
<b>2030</b>	<b>4.8400</b>	<b>0.6575</b>	<b>1.5953</b>
<b>2031</b>	<b>5.3097</b>	<b>0.6165</b>	<b>1.8378</b>
<b>2032</b>	<b>5.8251</b>	<b>0.5780</b>	<b>2.1172</b>
<b>2033</b>	<b>6.3904</b>	<b>0.5419</b>	<b>2.4390</b>
<b>2034</b>	<b>7.0106</b>	<b>0.5081</b>	<b>2.8098</b>

En la Tabla N° 19, se muestran los resultados, como porcentajes de generación de residuos plásticos PET, PP y PEAD proyectados en la provincia del Cusco. Los cuales representan la cantidad de estos plásticos dentro de la cantidad de Residuos Sólidos Domiciliarios total generados en la provincia del Cusco.

Con esta proyección de los porcentajes por tipo de plásticos, tenemos la cantidad de residuos plásticos domiciliarios en la Provincia del Cusco, producto de multiplicar la Cantidad de Residuos Sólidos domiciliarios proyectados en TM/año (Tabla N° 15) y los Porcentajes de

generación de residuos plásticos PET, PP y PEAD proyectados en la provincia del Cusco (Tabla N° 19), como la oferta de la materia prima, plasmada en la Tabla N° 20.

**Tabla 20**

*Oferta de la Materia Prima en la Provincia del Cusco*

Año	CANTIDAD DE RESIDUOS PLASTICOS DOMICILIARIOS EN LA PROVINCIA DEL CUSCO (TM/año)		
	PET	PEAD	PP
<b>2025</b>	3,075.2317	1,168.6509	901.8252
<b>2026</b>	3,528.3628	1,190.8155	1,119.5577
<b>2027</b>	4,050.4545	1,214.0576	1,390.6112
<b>2028</b>	4,652.3641	1,238.4358	1,728.2414
<b>2029</b>	5,346.6484	1,263.9960	2,149.0230
<b>2030</b>	6,147.9478	1,290.7987	2,673.7349
<b>2031</b>	7,073.2769	1,318.9043	3,328.4157
<b>2032</b>	8,142.4350	1,348.3765	4,145.7197
<b>2033</b>	9,378.4323	1,379.2767	5,166.5973
<b>2034</b>	10,808.1242	1,411.6784	6,442.4851

La Tabla N° 20 expone la evolución proyectada de la generación anual de residuos plásticos domiciliarios de tipo PET, PEAD y PP en la provincia del Cusco, expresada en toneladas métricas por año (TM/año), desde el 2025 hasta el 2034. El análisis permite observar comportamientos diferenciados entre los tres tipos de plástico:

- PET (Polietilentereftalato): presenta una tendencia creciente sostenida, pasando de 3,075.2317 TM en 2025 a 10,808.1242 TM en 2034, lo que representa un incremento acumulado de aproximadamente 251.45 %. Esto indica una creciente disponibilidad de este material como materia prima reciclable a lo largo del tiempo.
- PP (Polipropileno): también muestra un aumento constante, iniciando en 901.8252 TM en 2025 y alcanzando 6,442.4851 TM en 2034, con un crecimiento de alrededor

de 614.38%. Este notable aumento refuerza la relevancia del PP en la oferta futura de residuos aprovechables.

- PEAD (Polietileno de Alta Densidad): aquí también se puede observar una tendencia creciente, aumentando ligeramente de 1,168.6509 TM en 2025 a 1,411.6784 TM en 2034, lo que equivale a un incremento del 20.80%. Este ligero aumento podría estar relacionado con cambios en patrones de consumo, sustitución de materiales en envases y productos domiciliarios y el aumento del reciclaje.

En conjunto, la proyección evidencia un aumento neto en la disponibilidad total de residuos reciclables, especialmente impulsado por el crecimiento del PET y PP. Esta evolución justifica la implementación de un sistema integral de reciclaje en la provincia del Cusco, con una infraestructura adaptable a las tendencias específicas de cada tipo de plástico.

### **2.2.3. Demanda insatisfecha de la Materia Prima**

La demanda insatisfecha de la materia prima del proyecto, residuos plásticos PET, PP y PEAD de origen domiciliario, es la cantidad de materia prima disponible para usarla en el proyecto, resulta de reemplazar los valores en la ecuación N° 8.

$$DI_{Materia\ Prima} = Oferta_{MP} - Demanda_{MP} \quad (8)$$

Donde:

$DI_{Materia\ Prima}$ : Demanda Insatisfecha de la Materia Prima

$Oferta_{MP}$ : Oferta de la Materia Prima

$Demanda_{MP}$ : Demanda de la Materia Prima

Reemplazando los valores de las Tabla N° 20 (Oferta de la Materia Prima) y la tabla N° 4 (Demanda de la Materia Prima) en la ecuación N° 8 se obtienen los siguientes resultados, mostrados en la Tabla N° 21.

**Tabla 21**

*Demanda Insatisfecha de la Materia Prima*

<b>Año</b>	<b>PET (TM/año)</b>	<b>PEAD (TM/año)</b>	<b>PP (TM/año)</b>
<b>2025</b>	2,712.7520	777.1735	651.4575
<b>2026</b>	3,165.8832	759.3546	814.0546
<b>2027</b>	3,687.9749	742.3593	1,010.5804
<b>2028</b>	4,289.8844	726.1623	1,248.2554
<b>2029</b>	4,984.1688	710.7286	1,535.8458
<b>2030</b>	5,785.4682	696.0327	1,884.0348
<b>2031</b>	6,710.7972	682.0483	2,305.8286
<b>2032</b>	7,779.9554	668.7503	2,817.0755
<b>2033</b>	9,015.9526	656.1111	3,437.0809
<b>2034</b>	10,445.6445	644.1099	4,189.4127

La Tabla N° 21 muestra la existencia de Materia Prima disponible para ser usada en el proyecto, indicando que hay Materia Prima para poder continuar con el estudio y puesta en marcha del proyecto, garantizando el suministro continuo de los residuos plásticos de origen domiciliario.

### **2.3. Estudio de la Demanda y Oferta del Producto**

#### **2.3.1. Demanda del Producto**

##### **2.3.1.1. Demanda nacional de hojuelas de PET, PP y PEAD recicladas.**

La demanda nacional de hojuelas PET, PP y PEAD recicladas en el Perú ha experimentado un crecimiento progresivo, especialmente en la última década, debido al aumento en la conciencia

ambiental, las regulaciones que promueven la economía circular, y el crecimiento de sectores industriales como el de alimentos y bebidas, cosméticos, limpieza, y confecciones. Estos sectores requieren grandes volúmenes de envases y empaques, muchos de los cuales están siendo producidos con materiales reciclados para cumplir con estándares de sostenibilidad y reducir costos de materia prima. Además, el Estado peruano ha impulsado políticas que promueven el reaprovechamiento de residuos sólidos, lo que ha generado un entorno más favorable para la valorización del plástico reciclado. Como resultado, se ha intensificado la recolección y transformación de residuos plásticos para abastecer esta creciente demanda.

Las empresas peruanas que operan en el sector del reciclaje y la fabricación de productos reciclados se abastecen principalmente de hojuelas recicladas para cumplir con la creciente demanda interna y las necesidades de sus líneas de producción (Ministerio del Ambiente, 2020b; Villar Navarro, 2013).

En este sentido, los plásticos reciclados como el PET, PP y PEAD se destinan a aplicaciones específicas dentro del mercado nacional, siendo las principales industrias receptoras las de empaques, la textil, y la fabricación de productos termoformados. La capacidad de producción de hojuelas recicladas varía significativamente entre las empresas, con algunas empresas importantes que cuentan con capacidades de reciclaje de toneladas por mes, lo cual satisface la demanda interna.

Las principales empresas que producen y comercializan hojuelas recicladas en Perú incluyen a San Miguel Industrias PET S.A. ahora llamado Sustainable Materials & Innovation (SMI), Gexim SAC, Grupo AJE, entre otras, que abastecen tanto el mercado local como el internacional, mostrados en la Tabla N° 22, las cantidades de producción son en base al año 2024.

**Tabla 22***Demanda del Producto*

<b>Empresa</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Tipo de Plástico</b>	<b>Cantidad (TM/mes)</b>	<b>Fuente</b>
Sustainable Materials & Innovation (SMI)	Lima	PET	400-700	(Sustainable Materials & Innovation, 2024)
Gexim SAC	Lima	PET	450	(Gexim SAC, 2024)
Peruana de Moldeados S.A.	Callao	PET	300	(Inforegi3n, 2024)
Grupo AJE (planta reciclaje)	Lima	PET	800	(Grupo AJE, 2024)
C.P.E. Recycling	Lima	PP	830	(C.P.E. Recycling, 2024)
EcoPlast	Lima	PEAD	400	(EcoPlast, 2024)

Respecto a la empresa Sustainable Materials & Innovation (SMI) ex San Miguel Industrias, exporta hojuelas de PET reciclado, pero lo hace de forma indirecta, ya que su Unidad ClearPET produce hojuelas de PET reciclado grado alimentario, que son utilizadas principalmente para fabricar preformas y botellas, muchas de las cuales se exportan como producto final.

Es importante mencionar que SMI no s3lo trabaja con la cantidad estimada en tabla, ya que su capacidad es de 54000 TM/a3o, y que dependiendo a la demanda de producci3n que tenga, su demanda de hojuelas es mayor, por lo que la empresa San Antonio en Cusco, tiene como cliente a la industria SMI, ya que su requerimiento es considerable (Sustainable Materials & Innovation, 2024).

### 2.3.1.2. Demanda de Hojuelas Recicladas para Exportación

En cuanto a la demanda de hojuelas recicladas para exportación, el Perú ha logrado posicionarse como un proveedor importante de material reciclado en mercados internacionales, especialmente en Estados Unidos, Europa y China. Estos mercados han aumentado su interés por los plásticos reciclados debido a sus políticas de sostenibilidad y al creciente enfoque en la economía circular.

Las empresas peruanas exportadoras de hojuelas recicladas, como Polímeros y Plásticos Andina S.A.C. y Gexim SAC, han establecido canales de comercialización con varios países, destinando grandes volúmenes de hojuelas PET recicladas principalmente a la industria de empaques y a la producción de fibras de poliéster. Las exportaciones son una parte fundamental de la estrategia de muchas empresas, que buscan aprovechar la demanda creciente en mercados externos mientras cumplen con las regulaciones internacionales de reciclaje y sostenibilidad, las cantidades estimadas son presentadas en la Tabla N° 23.

**Tabla 23**

*Demanda de Hojuelas Recicladas para Exportación*

<b>Empresa</b>	<b>Destino de Exportación</b>	<b>Tipo de Plástico</b>	<b>Cantidad Exportada (TM/mes)</b>	<b>Fuente</b>
Polímeros y Plásticos Andina S.A.C.	Estados Unidos, Colombia y Panamá	PET	1400	(EMIS, 2023)
Gexim SAC	China	PET	100	(Gexim SAC, 2023)
EcoPlast	Europa	PEAD	820	(EcoPlast, 2023)

### **2.3.2. Oferta del Producto**

La oferta del producto se refiere a la cantidad de hojuelas recicladas de PET, PP y PEAD que los productores locales están en capacidad de suministrar al mercado en un período determinado. Esta oferta depende de factores como la disponibilidad de materia prima reciclable, la capacidad instalada de las plantas de reciclaje, la tecnología utilizada y las condiciones del mercado. En el contexto de Lima, diversas empresas abastecen el mercado con volúmenes variables de hojuelas recicladas, dirigidas tanto al consumo local como a la exportación.

#### **2.3.2.1. Producción de hojuelas PET reciclados en Lima**

La producción de hojuelas de PET reciclado en Lima es una actividad clave en el ciclo del reciclaje mecánico, y representa una parte significativa de la economía circular aplicada al plástico. Este proceso implica transformar botellas de PET posconsumo en hojuelas limpias y procesadas, que pueden ser utilizadas como insumo para la fabricación de nuevos envases, textiles o productos termoformados. En Lima, diversas empresas se dedican a este proceso, tanto para el mercado local como para el abastecimiento de industrias exportadoras. La capacidad instalada de estas plantas ha venido incrementándose en los últimos años para cubrir la creciente demanda de materiales reciclados.

La Tabla N° 24 muestra que la producción mensual total estimada de las principales empresas productoras de Hojuelas tipo PET en Lima: 1000 a 1200 toneladas métricas anuales.

**Tabla 24***Principales Empresas Productoras de hojuelas de plásticos PET en Lima*

<b>Empresa</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Producción mensual estimada (TM)</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Fuente</b>
Recicloplas Perú (Pamolasa)	Callao	667 TM	Planta enfocada en empaques termoformados con PET reciclado.	(Salud y familia, 2024)
Gexim S.A.C.	Ate	350 TM	Empresa que convierte PET reciclado en fibra de poliéster.	(Gexim SAC, 2023)

### **2.3.2.2. Producción de hojuelas PP y PEAD reciclados en Lima**

La producción de hojuelas de polipropileno (PP) y polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado en Lima es una actividad en crecimiento, impulsada por la necesidad de reducir el volumen de residuos plásticos y satisfacer la demanda de materiales reciclables en diversos sectores industriales. Estos polímeros, provenientes mayormente de envases domésticos, industriales y productos de uso cotidiano, son procesados mecánicamente hasta convertirse en hojuelas limpias que se emplean en la elaboración de nuevos envases, baldes, tuberías, y otros productos plásticos. Si bien esta industria es menos desarrollada que la del PET, varias empresas ya operan en Lima con capacidades significativas.

No se cuenta con cantidad exacta de la cantidad estimada de producción de hojuelas de PP y PEAD en Lima. Entre las principales empresas cuentan con una producción estimada para PEAD con 320 TM/mes y PP con 230 TM/mes.

Las cifras presentadas en la Tabla N° 24, son estimaciones basadas en la capacidad instalada de las plantas de reciclaje, información disponible en fuentes oficiales, notas de prensa,

y análisis de mercado. En algunos casos, las empresas no reportan públicamente su producción anual exacta.

#### **2.4. Demanda insatisfecha del producto**

El análisis de la demanda insatisfecha para hojuelas de plástico reciclado en Lima se basa en los datos actuales de oferta y demanda de hojuelas PET, PEAD y PP. Es importante destacar que los datos proporcionados no son exactos debido a ciertas limitaciones:

**Oferta:** Los datos de oferta provienen principalmente de las empresas que operan en Lima y sus alrededores, por lo que las cifras representan una estimación de la capacidad de producción dentro de esta área.

**Demanda:** En cuanto a la demanda, aunque se conocen las necesidades de las empresas locales, no existen registros claros sobre las cantidades que las empresas extranjeras compran, especialmente en relación a las hojuelas recicladas. Se asume que la demanda internacional de estos productos es mayor, ya que muchos países requieren este material reciclado como materia prima para sus procesos industriales y productos de alto valor agregado.

Para el cálculo de la demanda insatisfecha, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Demanda Insatisfecha} \\
 & = \textit{Demanda} - \textit{Oferta}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Para realizar el presente estudio de demanda insatisfecha, se tomaron como referencia los datos de oferta y demanda de hojuelas de plástico reciclado (PET, PEAD y PP) correspondientes a las principales empresas recicladoras con sede en la ciudad de Lima, donde se concentra la mayor actividad de producción y comercialización de estos productos a nivel nacional, realizadas en los

ítems de estudio de oferta y demanda del producto, hojuelas de plástico reciclado de los tipos PET, PP y PEAD, lo datos y resultados son mostrados en la Tabla N° 25.

**Tabla 25**

*Demanda insatisfecha del producto*

<b>Hojuelas por tipo de Plástico</b>	<b>Oferta (TM/año)</b>	<b>Demanda (TM/año)</b>	<b>Demanda Insatisfecha (TM/año)</b>
PET	1,017	3,750	2,733
PEAD	320	1,220	900
PP	230	830	600

La demanda insatisfecha positiva es un indicador clave que respalda la implementación de la planta de reciclaje, ya que existe un mercado desatendido que requiere del producto que el proyecto puede ofrecer. Esta situación no solo abre la posibilidad de competir con empresas existentes, sino de complementarlas mediante una oferta adicional, especialmente desde una ubicación estratégica que puede abastecer tanto al mercado interno como al externo.

## **2.5. Mercado potencial para el proyecto**

El mercado potencial hace referencia al conjunto de consumidores o empresas que, dadas las condiciones del entorno, podrían adquirir el producto ofrecido por el proyecto. En este caso, el proyecto se basa en la recolección, procesamiento y transformación de residuos plásticos domiciliarios (PET, PP y PEAD) en hojuelas plásticas recicladas, utilizando como fuente de materia prima los residuos plásticos de la provincia del Cusco, mientras que el mercado objetivo para la comercialización del producto final será Lima, capital del país.

### ***2.5.1. Origen de la Materia Prima***

Provincia del Cusco: Cusco es una de las provincias con mayor actividad urbana del sur del país. La generación de residuos sólidos municipales en la provincia supera las 500 toneladas diarias, de las cuales aproximadamente un 10% corresponde a residuos plásticos (Diario El Tiempo de Cusco, 2021).

Estos residuos, en su mayoría generados en hogares, comercios y pequeñas industrias, incluyen botellas de bebidas, envases de productos de limpieza, recipientes de alimentos, entre otros.

El proyecto aprovechará estos residuos domiciliarios como materia prima, mediante un sistema de recolección selectiva, clasificación, molienda, lavado y secado, para transformarlos en hojuelas de plástico reciclado listas para su comercialización.

### ***2.5.2. Mercado Objetivo***

Lima Metropolitana: La ciudad de Lima ha sido seleccionada como el mercado potencial para la venta del producto por las siguientes razones:

Alta concentración industrial: Lima alberga más del 65% de la producción industrial nacional, lo que implica una alta demanda de insumos como el plástico reciclado, especialmente en sectores como embalajes, textiles, productos de limpieza y construcción (INEI, 2023).

Tendencia creciente al uso de reciclado: Muchas empresas limeñas han adoptado el uso de material reciclado en sus líneas de producción, en cumplimiento con la Ley N.º 30884 y en respuesta a la presión social y ambiental por prácticas sostenibles (Ministerio del Ambiente del Perú, 2021).

Falta de oferta suficiente: A pesar del desarrollo del sector reciclador, la oferta de hojuelas recicladas aún no cubre la demanda total del mercado limeño, especialmente en productos con buen nivel de limpieza, clasificación y tamaño uniforme (APRIP, 2023).

Ubicación estratégica: Como capital del país, Lima no solo es el centro económico y logístico del Perú, sino también el punto de conexión hacia mercados internacionales, lo que abre futuras oportunidades de expansión comercial.

### ***2.5.3. Demanda insatisfecha = Oportunidad***

La producción de hojuelas de plástico reciclado desde Cusco hacia Lima responde a una clara oportunidad: mientras en Cusco hay disponibilidad de materia prima plástica subutilizada, en Lima existe demanda creciente y no completamente satisfecha por parte de industrias que requieren materiales reciclados para sus procesos productivos. Este proyecto busca cerrar esta brecha, conectando una zona con potencial de acopio con una ciudad que concentra el consumo industrial.

## **2.6. Segmentación del mercado**

La segmentación del mercado es el proceso mediante el cual se divide el mercado total en grupos de consumidores con características, comportamientos o necesidades similares, con el fin de diseñar estrategias comerciales más efectivas. Para el proyecto, la segmentación permitirá identificar y dirigirnos con mayor precisión a los clientes potenciales de hojuelas de plástico reciclado en Lima, optimizando así las acciones de comercialización.

### **2.6.1. Segmentación Geográfica**

#### **Región objetivo:**

- Lima

#### **Motivo:**

- Alta concentración de empresas industriales que demandan materiales reciclados para manufactura, embalaje, construcción, textiles, entre otros.

### **2.6.2. Segmentación Demográfica**

#### **Tipo de cliente**

Empresas medianas y grandes, formales, principalmente de los sectores:

- Industria del embalaje y empaques
- Industria de limpieza y productos químicos
- Industria textil
- Empresas de productos para el hogar
- Comercializadoras de insumos plásticos

#### **Ubicación**

- Distritos industriales de Lima como Ate, San Juan de Lurigancho, Villa El Salvador, Callao, Los Olivos, Independencia y Lurín.

### **2.6.3. Segmentación Conductual**

#### **Comportamiento de compra:**

- Empresas que priorizan prácticas sostenibles y la economía circular.

- Compradores que valoran certificaciones ambientales, limpieza y uniformidad del material reciclado.
- Empresas que han adaptado sus procesos para usar material reciclado en lugar de insumos vírgenes.

#### **2.6.4. Segmentación Psicográfica**

##### **Valores y actitudes:**

- Compromiso con la sostenibilidad ambiental.
- Interés por cumplir normativas de responsabilidad ambiental empresarial.
- Orientación a reducir costos sin sacrificar calidad.

#### **2.6.5. Segmentación por competencia**

Competimos principalmente con recicladoras asentadas en Lima que también ofrecen hojuelas de PET, PP o PEAD. Sin embargo, la propuesta de valor se basa en:

- Proveer un producto limpio y bien clasificado.
- Establecer acuerdos comerciales a mediano plazo.
- Abastecer una demanda que aún no está completamente cubierta.

### **2.7. Estudio de precios**

El análisis de precios es fundamental para establecer una estrategia comercial competitiva y rentable. En el caso de las hojuelas de plástico reciclado destinadas al mercado limeño, los precios varían según el tipo de polímero, la calidad del material (grado A, B o C), el nivel de limpieza y el volumen de compra.

En el mercado del reciclaje, las hojuelas de plástico reciclado se clasifican generalmente en tres grados de calidad (A, B y C), según el nivel de limpieza, homogeneidad, tipo de polímero y posibilidad de reutilización directa. Esta clasificación influye directamente en el valor comercial del material y en los procesos industriales en los que puede ser utilizado.

A continuación, en la Tabla N° 26 se detallan los precios promedio por kilogramo de hojuelas de plástico reciclado en Lima, basados en información recopilada de diversas fuentes:

**Tabla 26**

*Precios por kilogramo de hojuelas de plástico reciclado*

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Características Técnicas</b>	<b>Usos Comunes</b>	<b>Precio por kg (S/.)</b>
Grado A	Alta calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpias, lavadas y secas</li> <li>- Sin etiquetas ni contaminantes</li> <li>- Homogéneas en color y tamaño</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extrusión e inyección directa</li> <li>- Fibras, envases, botellas</li> </ul>	PET: 1.30 – 1.50 PP: 1.20 – 1.40 PEAD: 1.10 – 1.30
Grado B	Calidad media	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lavado básico</li> <li>- Presencia mínima de contaminantes</li> <li>- Ligera mezcla de colores o polímeros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Productos no críticos</li> <li>- Baldes, escobas, maceteros</li> </ul>	PET: 1.00 – 1.20 PP: 0.90 – 1.10 PEAD: 0.80 – 1.00
Grado C	Baja calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No lavadas</li> <li>- Altamente contaminadas</li> <li>- Mezcla de polímeros</li> <li>- Humedad visible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rellenos</li> <li>- Reciclaje industrial posterior</li> </ul>	PET: 0.70 – 0.90 PP: 0.60 – 0.80 PEAD: 0.50 – 0.70

*Fuentes: Aguilar Marchena, (2017); Plaz, (2025))*

Es importante destacar que estos precios pueden fluctuar según la oferta y demanda del mercado; así como, por la calidad y presentación del material.

### ***2.7.1. Factores que Influyen en los Precios***

Los precios de las hojuelas de plástico reciclado en Lima están influenciados por varios factores:

**Calidad del material:** Las hojuelas de grado A, que son limpias, secas y sin contaminantes, tienen un mayor valor en el mercado.

**Volumen de compra:** Las compras al por mayor suelen tener precios más competitivos.

**Demanda del mercado:** La creciente demanda de materiales reciclados por parte de industrias comprometidas con la sostenibilidad puede elevar los precios.

**Costos de producción y logística:** Los costos asociados al procesamiento y transporte desde Cusco hasta Lima también afectan el precio final.

### ***2.7.2. Estrategia de Precios para el Proyecto***

Considerando los precios del mercado y los costos asociados a la producción y transporte, se propone establecer un precio competitivo para las hojuelas de plástico reciclado, asegurando la rentabilidad del proyecto y ofreciendo un producto de alta calidad que satisfaga las necesidades del mercado limeño.

## **2.8. Estudio de canales de comercialización**

Los canales de comercialización son los medios a través de los cuales se distribuyen los productos desde el productor hasta el consumidor final. La elección adecuada de estos canales es

fundamental para asegurar una distribución eficiente, mantener la calidad del producto, optimizar los costos logísticos y llegar al segmento de mercado objetivo.

Basándonos en la teoría de Kotler y Keller (2012), los canales de comercialización pueden clasificarse en directos (canales cortos) e indirectos (canales largos), dependiendo de la cantidad de intermediarios entre el productor y el consumidor. Estos autores también destacan cómo el avance de la tecnología ha dado lugar a nuevas formas de contacto comercial, donde los canales digitales desempeñan un rol complementario, facilitando la comunicación, la promoción y la fidelización del cliente.

En el contexto del presente estudio, se detallan los canales más apropiados para la venta de hojuelas recicladas de PET, PP y PEAD, considerando la ubicación geográfica de la planta en Cusco, el perfil de los clientes potenciales, y las condiciones logísticas y comerciales del mercado peruano (Kotler & Keller, 2012).

A continuación, se detallan los canales propuestos de acuerdo con el modelo de operación y estrategia comercial planteados en esta tesis: el canal corto (venta directa), el canal largo (venta a través de intermediarios) y el canal digital complementario (para apoyo en visibilidad, promoción y contacto con clientes).

### **2.8.1. Canal Corto (Venta directa)**

Este canal será utilizado principalmente para ventas a empresas recicladoras grandes o medianas ubicadas en Lima, que procesan las hojuelas para convertirlas en nuevos productos. La venta se realizará directamente desde la planta ubicada en Cusco, haciendo uso de transporte terrestre.

#### **Flujo:**

Productor (planta Cusco) → Cliente industrial en Lima.

**Ventajas:**

- Mayor margen de ganancia.
- Relación directa con el cliente.
- Menores costos de intermediación.

**Desventajas:**

- Necesidad de logística propia.
- Requiere gestión comercial activa.

**2.8.2. Canal Largo (con intermediarios)**

En este canal, las hojuelas se venden a acopiadores o mayoristas que operan en Lima. Estos intermediarios, a su vez, distribuyen el producto a clientes industriales más pequeños o informales.

**Flujo:**

Productor → Acopiador/Distribuidor → Cliente final.

**Ventajas:**

- Mayor alcance de mercado.
- Reducción en los costos de comercialización y transporte.

**Desventajas:**

- Menor margen de ganancia.
- Dependencia de precios impuestos por el intermediario.

### 2.8.3. *Canales Digitales Complementarios*

Además de los canales tradicionales, se considerará el uso de canales digitales como grupos de Facebook especializados en reciclaje industrial, WhatsApp Business, y plataformas como Marketplace, que permiten conectar con compradores en todo el país de forma rápida y económica.

### 2.8.4. *Elección del Canal de Comercialización del proyecto*

La elección del canal de comercialización se realizó usando una tabla de comparación por ponderaciones, mostrada en la Tabla N° 27.

**Tabla 27**

*Elección por ponderación para el canal de comercialización*

<b>Alternativa de Comercialización</b>	<b>Margen de Ganancia (30%)</b>	<b>Menor costo de Intermediación (40%)</b>	<b>Mayor alcance de Mercado (30%)</b>	<b>Puntaje total (0-10)</b>
Canal Corto	9	8	8	<b>7.1</b>
Canal Largo	7	4	6	4.1
Canales Digitales	6	6	9	5.1

Donde, la Escala de calificación es la siguiente (será usado en todo el presente trabajo):

- 10 = Muy favorable
- 1 = Nada favorable
- Puntaje total = Suma de [Peso × Puntaje]

Con el apoyo del cuadro para la elección del canal de comercialización; se tiene que, la mejor opción es la de Canal corto, tomando en cuenta el margen de ganancia, menor costo de intermediación y el alcance de mercado que tengan.

En el presente proyecto se optó por utilizar el canal corto de comercialización, debido a que permite una venta directa entre el productor (la planta en Cusco) y los compradores industriales en Lima. Esta modalidad es ideal en el presente proyecto, ya que:

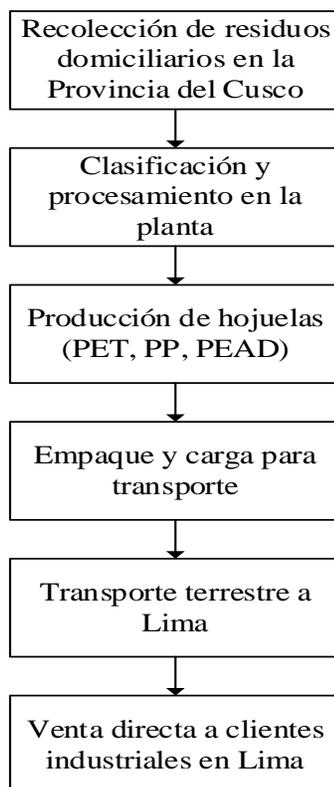
- Incrementa el margen de ganancia, al evitar la participación de intermediarios.
- Brinda mayor control sobre la calidad del producto entregado y las condiciones de negociación (precios, cantidades, plazos).
- Fomenta relaciones comerciales sólidas y estables con clientes recurrentes.
- La producción es lo suficientemente especializada (hojuelas de PET, PP y PEAD grado A) como para interesar directamente a transformadores plásticos que exigen materia prima confiable.
- La logística contempla el transporte directo Cusco – Lima, facilitando la entrega programada a empresas establecidas.

Esta decisión busca también alinear la operación con principios de eficiencia operativa y generación de valor agregado local.

### 2.8.4.1. Diagrama de Flujo – Canal Corto de Comercialización

**Figura 3**

*Diagrama de flujo del canal corto de comercialización*



La figura N° 3 detalla el recorrido del producto desde su origen hasta su destino final dentro del canal corto de comercialización. El proceso inicia con la recolección de residuos plásticos domiciliarios en la provincia del Cusco, los cuales son posteriormente clasificados y procesados en esta planta, donde se convierten en hojuelas de PET, PP y PEAD.

Una vez obtenidas las hojuelas, estas son empaquetadas y preparadas para su transporte terrestre hacia Lima, donde son vendidas directamente a clientes industriales, sin necesidad de intermediarios. Esta cadena directa permite optimizar costos y mantener un mayor control sobre la calidad y la logística del producto.

### Capítulo III. Estudio técnico del proyecto

#### 3.1. Introducción

El estudio técnico constituye una parte fundamental en el desarrollo del proyecto, ya que nos permite definir de manera detallada cómo se llevará a cabo la transformación de los residuos plásticos domiciliarios en un producto reciclado útil para la industria. En esta sección abordamos la descripción del proceso productivo, las características físicas de la planta, los requerimientos operativos y las condiciones necesarias para asegurar una operación eficiente. Asimismo, se establecen los parámetros que guiarán el diseño y organización del espacio; así como, la estimación de insumos, materiales y equipamiento especializado para cada etapa del reciclaje.

##### *3.1.1. Características de las materias primas recicladas*

###### **3.1.1.1. PET (Tereftalato de Polietileno)**

El PET es uno de los plásticos más utilizados en el mundo debido a sus excelentes características que lo hacen apto para diversos usos, especialmente en envases.

**Transparencia:** El PET es conocido por su alta claridad y transparencia, lo que lo hace ideal para productos de consumo como botellas de agua, jugos y bebidas. Este atributo facilita la visualización del contenido, lo que aumenta su valor en el mercado de envases.

**Resistencia mecánica y térmica:** El PET (polietileno tereftalato) es un polímero termoplástico que destaca por su alta resistencia mecánica y térmica, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones, especialmente en la industria alimentaria (Plásticos Brello, 2018).

**Reciclabilidad:** El PET es ampliamente reciclado debido a su estabilidad química y a la eficiencia de su proceso de reciclaje. El proceso de reciclaje del PET consta de varias etapas que

garantizan la obtención de escamas limpias de rPET (PET reciclado), las cuales pueden ser reutilizadas en la fabricación de nuevos productos (Boretech, 2023).

**Ligereza:** Este material es ligero, lo que ayuda a reducir los costos de transporte y facilita su manejo y uso en productos de consumo masivo.

### 3.1.1.2. PP (Polipropileno)

El PP es uno de los plásticos más versátiles, utilizado en una amplia gama de aplicaciones gracias a sus características únicas.

**Resistencia al calor:** El polipropileno es muy resistente al calor, lo que le permite mantener su integridad estructural en condiciones extremas. Este material se usa comúnmente en productos que deben soportar temperaturas elevadas, como envases para microondas, utensilios de cocina, y partes de automóviles.

**Resistencia química:** El PP es resistente a muchos productos químicos, lo que lo hace ideal para su uso en la fabricación de contenedores para productos industriales, detergentes y productos químicos. Esta propiedad también le otorga una excelente resistencia a la corrosión y al ataque de sustancias agresivas.

**Durabilidad y rigidez:** Aunque es más rígido que el PET, el PP es un material que ofrece una durabilidad considerable sin comprometer su ligereza. Esta rigidez hace que sea ideal para productos como tapas de botellas, envases de yogurt, baldes y otros elementos que requieren resistencia estructural (Green Global Polymers, 2023).

**Reciclabilidad:** Aunque no es tan reciclado como el PET, el PP también se puede reciclar, aunque su procesamiento es más complejo. El reciclaje de PP tiene ventajas en términos de coste y eficiencia, ya que es relativamente económico de procesar y sus propiedades no se pierden significativamente después de varios ciclos de reciclaje.

### 3.1.1.3. PEAD (Polietileno de Alta Densidad)

El PEAD es un material muy resistente, utilizado en una variedad de aplicaciones industriales y comerciales.

**Resistencia a impactos:** El PEAD es extremadamente resistente a impactos, lo que lo convierte en un material ideal para la fabricación de productos que deben resistir golpes y caídas, como los envases de detergentes, jarras de leche y tuberías.

**Resistencia química y a la humedad:** Este material es altamente resistente a la humedad y a una amplia gama de productos químicos, lo que lo hace adecuado para el almacenamiento de productos líquidos y químicos. Además, no es susceptible a la degradación por factores ambientales como la exposición a la luz solar o la humedad.

**Estabilidad dimensional:** El PEAD mantiene su forma y tamaño incluso bajo condiciones extremas de temperatura y presión, lo que lo hace ideal para aplicaciones industriales, como la fabricación de tuberías y tanques de almacenamiento (ECOCE, 2023).

**Reciclabilidad:** El PEAD es un material altamente reciclable, y su uso en la fabricación de nuevos productos es cada vez más popular. Se utiliza para la creación de productos como muebles plásticos, tubos, piezas para la industria automotriz, y más. El reciclaje de PEAD es relativamente sencillo y no degrada las propiedades del material de manera significativa.

### 3.1.2. Características del producto obtenido

El producto obtenido en el proceso es hojuela plástica limpia, seca y clasificada, correspondiente a tres tipos de polímeros: PET (polietileno tereftalato), PP (polipropileno) y PEAD (polietileno de alta densidad). Estas hojuelas son el resultado de un tratamiento mecánico que incluye las etapas de clasificación, molienda, lavado en caliente, enjuague, separación y secado.

Cada tipo de hojuela presenta las siguientes características generales:

**Tamaño:** entre 10 mm y 12 mm de longitud promedio.

**Humedad:** inferior al 1%, garantizando condiciones óptimas para su almacenamiento y transporte.

**Pureza:** mayor al 95% por tipo de polímero, resultado del proceso de clasificación manual (para los 3 tipos de plásticos) y separación por densidad (para el PET).

**Presentación:** material a granel, en sacos industriales, pacas o big bags de capacidad de 50 Kg, listo para ser reutilizado en procesos de extrusión, inyección u otros usos industriales.

**Color:** variable según el tipo de residuo procesado, predominando el transparente para PET, blanco y colores suaves para PEAD, y tonos claros u opacos en el caso del PP (Bejar Sanchez, 2019).

Estas hojuelas son comercializadas como materia prima secundaria para empresas recicladoras o manufactureras, especialmente en la ciudad de Lima, donde existe una demanda sostenida de insumos reciclados para la elaboración de nuevos productos plásticos.

### ***3.1.3. Objetivo del estudio técnico***

El objetivo del estudio técnico del proyecto es evaluar la viabilidad técnica de la instalación de una planta de reciclaje de plásticos en la ciudad del Cusco, considerando tanto la disponibilidad de recursos físicos y materiales, como la definición precisa del proceso productivo. Este estudio abarca la realización del balance de materia y energía, permitiéndonos dimensionar adecuadamente cada una de las etapas del proceso, desde la recepción de la materia prima hasta la obtención del producto final. Asimismo, tiene como finalidad cuantificar las maquinarias, equipos e instalaciones necesarias, asegurando que su capacidad sea coherente con la demanda proyectada

y con los estándares de eficiencia y sostenibilidad requeridos para el funcionamiento óptimo de la planta.

#### ***3.1.4. Contexto del proyecto***

El proyecto de instalación de una planta de reciclaje de plásticos en la provincia del Cusco se enmarca en un entorno cada vez más comprometido con la sostenibilidad ambiental, la valorización de residuos y la economía circular. En los últimos años, el crecimiento del consumo de productos envasados en plástico ha generado un incremento significativo en los residuos domiciliarios, especialmente de polímeros como PET, PP y PEAD. Esta situación representa un desafío ambiental, pero también una oportunidad para transformar estos residuos en insumos reutilizables.

Desde el punto de vista económico, el reciclaje se presenta como una alternativa viable para generar valor a partir de desechos, reducir la dependencia de materia prima virgen y crear oportunidades de empleo local. En regiones como Cusco, donde el acceso a industria pesada es limitado, el aprovechamiento de residuos plásticos puede convertirse en un motor de desarrollo económico local.

En el ámbito social, el proyecto promueve una cultura de reciclaje en la ciudadanía, fomenta prácticas responsables en la gestión de residuos sólidos y fortalece el rol de los recicladores como actores clave de la cadena productiva. Además, contribuye a mejorar la limpieza urbana y a reducir los impactos negativos de los residuos en los espacios públicos y naturales.

En cuanto a los factores políticos y normativos, el proyecto se alinea con las políticas del Ministerio de la Producción (PRODUCE) y del Ministerio del Ambiente (MINAM), que promueven la economía circular como modelo de desarrollo sostenible. Asimismo, responde a los lineamientos establecidos en el Plan Nacional de Competitividad y Productividad, así como al Plan

Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PLANRES), que impulsan el fortalecimiento de la industria del reciclaje en el país.

Finalmente, en el plano ambiental, el proyecto contribuye directamente a la reducción de residuos plásticos en botaderos informales, ríos y espacios naturales, mitigando los efectos de la contaminación plástica. Al promover la reincorporación de estos materiales al ciclo productivo, contribuimos a la disminución de la huella de carbono y al uso racional de recursos no renovables.

En conjunto, el contexto actual brinda condiciones favorables para el desarrollo de iniciativas como este proyecto, que integran los principios de la economía circular, generan impacto social positivo y contribuyen al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible en el país.

### **3.2. Localización del proyecto**

En el presente estudio se ha optado por abordar directamente la localización del proyecto dentro de la provincia del Cusco, sin diferenciar entre macro y micro localización. Esto se debe a que, desde un inicio, el trabajo ha estado enfocado en la implementación de una planta de reciclaje específicamente en esta provincia, por lo que no resulta necesario evaluar alternativas a nivel nacional o regional (macro localización). Esta delimitación permite concentrar el análisis en las condiciones reales y específicas del contexto local, donde se desarrollará la actividad.

Para determinar la ubicación más adecuada para la instalación de la planta dentro de la provincia, se ha utilizado el método de evaluación por ponderaciones multicriterio. Este consiste en definir una serie de factores clave que influyen en el desempeño del proyecto, tales como el acceso a materia prima, cercanía a vías de transporte, disponibilidad de servicios básicos, mano de obra, entre otros. A cada criterio se le asigna un valor de ponderación según su nivel de importancia

relativa, y se evalúan distintas alternativas de ubicación en función del cumplimiento de dichos criterios. Finalmente, se selecciona la alternativa que obtiene el mayor puntaje, considerándola como la opción óptima para el emplazamiento de la planta.

### **3.2.1. Cercanía al mercado**

#### **➤ Cercanía al Mercado de la Materia Prima del Proyecto**

Los distritos de San Sebastián y San Jerónimo son los más adecuados en cuanto a la cercanía al mercado de la materia prima. Estas ubicaciones se encuentran dentro de la provincia de Cusco, cerca de las principales zonas urbanas donde se generan y acopian residuos plásticos. Su proximidad a estas fuentes permite:

1. Reducir costos de transporte asociados al traslado de la materia prima hacia la planta.
2. Optimizar tiempos logísticos, mejorando la eficiencia del proceso de recepción y almacenamiento de los materiales reciclables.

Estas características hacen de San Sebastián y San Jerónimo, puntos estratégicos para la recolección y procesamiento inicial de los residuos plásticos.

#### **➤ Cercanía al Mercado del Producto Final**

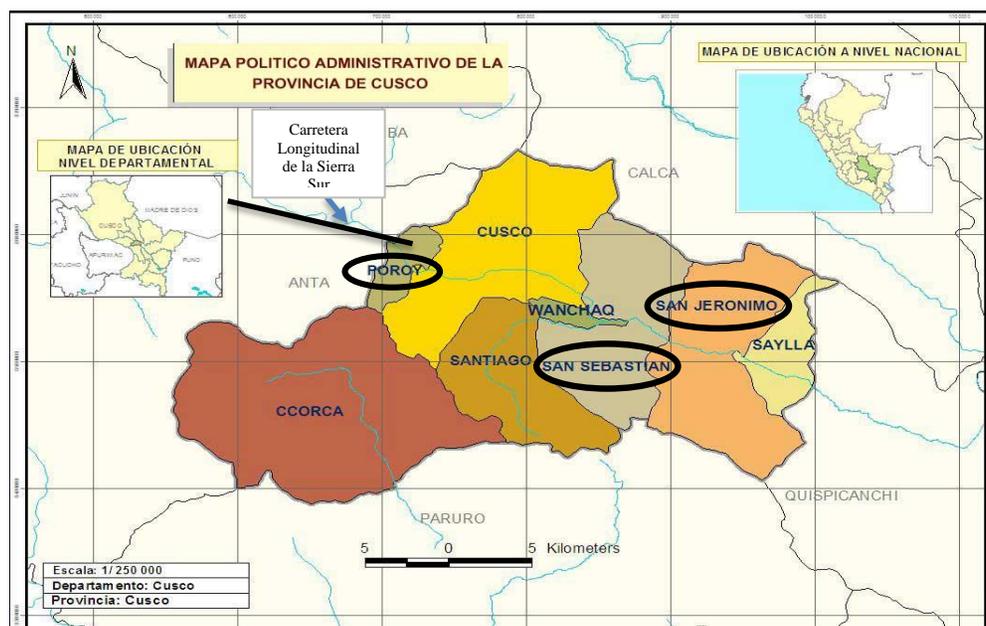
En cuanto al mercado del producto final, el distrito de Poroy es la ubicación más estratégica. Este distrito se encuentra situado en el trayecto principal entre Cusco y Lima, la ciudad que constituye el mercado objetivo de las hojuelas de residuos plásticos de origen domiciliario.

El acceso desde Poroy a Lima se realiza mediante la Carretera Longitudinal de la Sierra Sur, una vía de alta transitabilidad que conecta de manera eficiente las regiones del sur con la capital.

En la Figura N° 4 se muestra la ubicación de los distritos de San Sebastián, San Jerónimo y Poroy en la provincia del Cusco, destacando también el trayecto Cusco-Lima y su relevancia para la logística del proyecto.

**Figura 4**

*Ubicación de los distritos de San Sebastián, San Jerónimo y Poroy en la provincia del Cusco*



*Fuente: SIAR - Sistema de Información Ambiental Regional, 2010*

**Tabla 28**

*Puntaje por criterio para la localización - Cercanía al mercado*

<b>Alternativa</b>	<b>Cercanía a Materia Prima (Ponderación:50%)</b>	<b>Cercanía a Producto (Ponderación:50%)</b>	<b>Puntaje total (0-10)</b>
San Sebastián	8	6	7
San Jerónimo	7	5	6
Poroy	5	9	7

En la Tabla N° 28, se presenta la matriz de evaluación con una ponderación específica asignada al criterio de cercanía al mercado.

### 3.2.2. *Vías de comunicación.*

Uno de los factores críticos para la localización de una planta de reciclaje es el acceso adecuado a vías de comunicación, ya que influye directamente en el transporte de residuos desde las zonas de recolección y en la distribución de las hojuelas recicladas hacia los clientes. Para evaluar este criterio, se asignaron puntajes en función de la conectividad vial, cercanía a vías principales, acceso a transporte público y facilidad para el transporte de carga. En la Tabla N° 29, se presenta la matriz de evaluación con una ponderación específica asignada al criterio de vías de comunicación.

**Tabla 29**

*Puntaje por criterio para la localización - Vías de comunicación*

<b>Alternativa</b>	<b>Acceso a vías principales (Ponderación:40%)</b>	<b>Transporte público (Ponderación:20%)</b>	<b>Facilidad para carga/descarga (Ponderación:40%)</b>	<b>Puntaje total (0-10)</b>
San Sebastián	9	8	9	8.8
San Jerónimo	8	7	8	7.8
Poroy	6	5	6	5.8

### 3.2.3. *Disponibilidad de mano de obra.*

Para este estudio se realizó el uso de la cantidad de personas desempleadas, teniendo como dato la tasa de desempleo, obtenido de la base del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

➤ **Tasa de Desempleo**

Se realizó la proyección de la tasa de desempleo (Tabla N° 30) para estimar la cantidad de las personas desempleadas en los 10 años de operatividad de la planta.

**Tabla 30**

*Tasa de desempleo en la Provincia del Cusco*

<b>Año</b>	<b>Tasa de Desempleo (%)</b>
2007	4.2
2008	3.9
2009	4.1
2010	2.6
2011	2.8
2012	1.9
2013	4.5
2014	3.2
2015	1.7
2016	3.3
2017	2.8

*Fuente: (INEI, 2018)*

En el presente estudio se ha utilizado la tasa de desempleo correspondiente al año 2018 para la provincia del Cusco, en base al documento “Indicadores de Empleo e Ingreso por Departamento” publicado por el INEI. Esta decisión responde a la disponibilidad y desagregación territorial de la información oficial.

Actualmente, los boletines recientes del INEI, como los informes trimestrales sobre el comportamiento del mercado laboral, brindan datos desagregados por ciudades principales, entre ellas la ciudad de Cusco. Sin embargo, estos no permiten obtener información específica para toda la provincia de Cusco, ya que su cobertura se limita al área urbana principal y no representa con

exactitud la realidad económica y laboral del resto de distritos y zonas rurales que conforman la provincia.

Dado que el análisis del proyecto contempla a la provincia como unidad territorial de intervención, y no únicamente a su capital o ciudad de Cusco, se ha optado por utilizar la última base oficial disponible con datos confiables a nivel provincial, correspondiente al año 2018. Esta fuente permite reflejar de manera más integral el contexto socioeconómico en el que se inserta el proyecto.

Usando el método de correlación lineal, se proyectó la tasa de desempleo hasta el 2034.

Tomando los datos de la Tabla N° 14 la población proyectada del 2025 al 2034 y la Tabla N° 31, resulta la cantidad de población desempleada en esos años, y se le colocó su puntaje ponderado en la Tabla N° 32.

### **Tabla 31**

*Tasa de desempleo proyectado hasta el 2034*

<b>Año</b>	<b>Tasa de Desempleo (%)</b>
2024	1.7793
2025	1.6548
2026	1.5303
2027	1.4058
2028	1.2813
2029	1.1568
2030	1.0323
2031	0.9078
2032	0.7833
2033	0.6588
2034	0.5343

**Tabla 32***Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Mano de Obra*

<b>Distrito</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>...</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>	<b>Valoración</b>
<b>Poroy</b>	3,172	3,047	2,909	...	1,716	1,446	1
<b>San Jerónimo</b>	150,731	148,350	145,041	...	98,778	85,260	7
<b>San Sebastián</b>	258,119	249,121	238,844	...	144,642	122,428	9

**3.2.4. Disponibilidad de suelos.****Disponibilidad de Terrenos**

San Sebastián: Es un distrito en constante urbanización, con crecimiento comercial y residencial. La disponibilidad de terrenos industriales es baja, y los costos pueden ser elevados.

San Jerónimo: Cuenta con más espacio para desarrollos industriales en comparación con San Sebastián, pero está experimentando un crecimiento urbano acelerado, lo que podría afectar la disponibilidad futura.

Poroy: Es el distrito con mayor disponibilidad de terrenos debido a su menor densidad poblacional. Los precios del suelo son más accesibles y hay menos restricciones urbanísticas para industrias.

**Uso de Suelo y Normativas**

San Sebastián: Predominan áreas residenciales y comerciales, con pocas zonas industriales. Es importante revisar la zonificación antes de considerar un terreno.

San Jerónimo: Algunas áreas permiten actividades industriales ligeras, pero pueden existir restricciones ambientales y urbanísticas.

Poroy: Menos restricciones para el desarrollo industrial, lo que lo hace más viable para plantas de reciclaje. Sin embargo, es importante considerar la conectividad y acceso a servicios (Sub Gerencia de Acondicionamiento Territorial - Cusco, 2017).

**Tabla 33**

*Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Suelos*

<b>Alternativa</b>	<b>Disponibilidad de Terrenos (Ponderación:60%)</b>	<b>Uso de Suelo y Normativas (Ponderación:40%)</b>	<b>Puntaje total (0-10)</b>
San Sebastián	5	4	4.6
San Jerónimo	7	6	6.6
Poroy	9	8	8.6

En la Tabla N° 33, se puede observar que Poroy es la mejor opción en términos de disponibilidad de suelo y menor costo, pero su acceso a servicios e infraestructura es más limitado. San Jerónimo es un punto intermedio con mejor acceso, pero con crecimiento urbano que puede encarecer terrenos en el futuro. San Sebastián, aunque tiene la mejor conectividad, es la opción menos viable por su alta urbanización y menor disponibilidad de terrenos industriales.

### **3.2.5. Disponibilidad de recursos hídricos.**

#### **1. Fuentes de agua**

San Sebastián: Este distrito cuenta con diversas fuentes de agua superficial.

San Jerónimo: Al igual que San Sebastián, San Jerónimo posee fuentes de agua superficial.

Poroy: Aunque no se dispone de datos específicos sobre las fuentes de agua en Poroy, se presume que, al igual que otros distritos de la provincia de Cusco, cuenta con recursos hídricos superficiales (Dirección Regional de Agricultura Cusco, 2021).

## 2. Cobertura de Servicios de Agua Potable:

San Sebastián y San Jerónimo - Estos distritos presentan una alta cobertura de servicios de agua potable en sus zonas urbanas, alcanzando el 94% y 95% respectivamente.

Poroy - La cobertura de agua potable en la zona urbana de Poroy es del 72% (Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial Provincial - Agua y desagüe, 2017).

## 3. Calidad del Recurso Hídrico:

San Sebastián y San Jerónimo - La alta cobertura de servicios de agua potable sugiere que las fuentes de agua en estos distritos son aptas para el consumo humano, aunque es esencial considerar tratamientos adecuados para garantizar su calidad.

Poroy - Con una cobertura del 72%, es importante evaluar la calidad del agua disponible y considerar mejoras en la infraestructura para asegurar su potabilidad.

**Tabla 34**

*Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Recursos Hídricos*

<b>Alternativa</b>	<b>Fuentes de agua (Ponderación:30%)</b>	<b>Cobertura de Servicios de Agua Potable (Ponderación:40%)</b>	<b>Calidad del Recurso Hídrico (Ponderación:30%)</b>	<b>Puntaje total (0-10)</b>
San Sebastián	9	9	8	8.7
San Jerónimo	9	9	8	8.7
Poroy	7	6	6	6.3

En la Tabla N° 34, se muestra que San Sebastián y San Jerónimo tienen la mejor disponibilidad de recursos hídricos, con una cobertura de agua potable, y Poroy tiene una menor cobertura de agua potable y puede requerir mejoras en infraestructura hídrica.

### 3.2.6. Disponibilidad de energía y potencia.

#### ➤ Cobertura de Energía Eléctrica

San Sebastián y San Jerónimo - Estos distritos presentan una alta cobertura de servicios de energía eléctrica en sus zonas urbanas, alcanzando el 98%.

Poroy - La cobertura de energía eléctrica en la zona urbana de Poroy es del 94% (Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial Provincial – energía eléctrica, 2017).

La Tabla N° 35, muestra que los distritos San Sebastián y San Jerónimo ofrecen una excelente disponibilidad de energía y potencia, con alta cobertura, y Poroy presenta una buena cobertura eléctrica; sin embargo, podría requerir inversiones adicionales en infraestructura para garantizar un servicio de calidad y atender futuras demandas energéticas.

#### **Tabla 35**

*Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Energía y Potencia*

<b>Alternativa</b>	<b>Cobertura de Energía Eléctrica</b>
San Sebastián	9
San Jerónimo	9
Poroy	8

### 3.2.7. Disponibilidad de materia prima e insumos.

#### ➤ Disponibilidad de materia prima

En el estudio realizado de la materia prima, se ha identificado la generación de residuos plásticos en diversos distritos de la provincia de cusco. En la Tabla N° 15, se presentan los volúmenes de residuos plásticos generados en cada distrito, lo que permite analizar la disponibilidad de materia prima reciclable en cada zona.

**San Sebastián:** Área urbanizada que presenta una alta generación de residuos plásticos atribuida principalmente a su densidad poblacional y actividad comercial. San Sebastián aporta la mayor cantidad de residuos plásticos, lo que lo convierte en una fuente clave de materia prima reciclable.

**San Jerónimo:** Es una zona en crecimiento con una mezcla de áreas urbanas y semiurbanas. El distrito de San Jerónimo ocupa el quinto lugar en generación de residuos plásticos entre los distritos evaluados, lo que lo convierte en una fuente considerable de materia prima reciclable.

**Poroy:** Es un distrito con características semiurbanas y rurales con una menor densidad poblacional y comercial. El distrito de Poroy es uno de los que genera menor cantidad de residuos plásticos entre los distritos evaluados, lo que limita su aporte como fuente de materia prima reciclable.

**Tabla 36**

*Puntaje por criterio para la localización - Disponibilidad de Materia Prima e Insumos*

<b>Distrito</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>...</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>	<b>Valoración</b>
<b>Poroy</b>	333.91	352.13	371.55	392.03	...	512.42	540.67	1
<b>San Jerónimo</b>	16,878	18,239	19,710	21,299	...	31,387	33,918	6
<b>San Sebastián</b>	33,528	35,530	37,650	39,898	...	53,315	56,498	9

En la Tabla N° 36, se presenta la valoración de disponibilidad de materia prima e insumos.

### **3.2.8. Condiciones climáticas**

**San Sebastián y San Jerónimo:** Ubicados a 3200-3300 m.s.n.m., presentan un clima templado con temperaturas entre 4.2 y 19.6 °C lluvias frecuentes de noviembre a marzo donde se pueden registrar precipitaciones moderadas a intensas lo que podría afectar la logística de transporte y almacenamiento de materiales y clima seco de abril a octubre (Municipalidad Distrital de San Sebastián, n.d.).

**Poroy:** a una altitud de 3500 m.s.n.m., climas más frío con temperaturas que pueden bajar hasta los 2° C en invierno. En temporadas de lluvias, las precipitaciones pueden ser intensas y prolongadas, lo que podría afectar la transitabilidad de ciertas vías y dificultar el transporte de materiales (Gerente Municipal, 2020).

### **3.2.9. Cercanía a atractivos turísticos.**

**San Sebastián:** Este distrito posee una gran riqueza cultural, tanto material como inmaterial, que se remonta a las épocas inca y colonial. En el distrito se encuentran 20 sitios o zonas arqueológicas, además de 6 monumentos históricos y artísticos declarados patrimonio cultural, los cuales impulsan la actividad turística y cultural en la zona. Algunos de los sitios más relevantes incluyen Rumiwasi (buen estado de conservación), Waqapunku, Qencha, Patapatayoc (estado regular) y Pumamarca (mal estado de conservación) (Dirección Desconcentrada de Cultura Cusco, 2023).

**San Jerónimo:** Cuenta con diversos atractivos turísticos que podrían influir en la viabilidad de la instalación de la planta de reciclaje. Entre ellos se destacan la Plaza de Armas de

San Jerónimo, el bosque de Ccoyahuacho, Nahuinpuquio, el Paraiso, el río Chumbao, los once perdidos y el Peñon del Aguila.

**Poroy:** Cuenta con varios atractivos turísticos como la Estacion de Tren de Poroy, que conecta Cusco con Machu Picchu, la Capilla Colonial, el mirador, las haciendas coloniales y diversas rutas de trekking hacia Chinchero y otras localidades (Ministerio de Cultura, 2020).

**Tabla 37**

*Puntaje por criterio para la localización - Condiciones Climáticas y Cercanía a atractivos turísticos*

<b>Alternativa</b>	<b>Condiciones climáticas (Ponderación:60%)</b>	<b>Cercanía a atractivos turísticos (Ponderación:40%)</b>	<b>Puntaje total (0-10)</b>
San Sebastián	8	5	6.8
San Jerónimo	8	8	8
Poroy	3	2	2.6

### 3.2.10. Selección y justificación de la localización.

Para la selección de la localización de la planta se realizó un resumen de todos los puntos considerados para la localización, se resumen en la Tabla N° 38, asignándoles un peso que será tomado en cuenta para la selección y justificación de la localización.

**Tabla 38**

*Resumen de la ponderación en la localización*

<b>Factores</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>Puntaje</b>		
		<b>San Sebastián</b>	<b>Poroy</b>	<b>San Jerónimo</b>
<b>Cercanía al mercado</b>	20	7	7	6
<b>Vías de comunicación</b>	10	8.8	5.8	7.8
<b>Disponibilidad de mano de obra</b>	5	9	1	7

Factores	Ponderación (%)	Puntaje		
		San Sebastián	Poroy	San Jerónimo
Disponibilidad de suelos	10	4.6	8.6	6.6
Disponibilidad de recursos hídricos	20	8.7	6.3	8.7
Disponibilidad de energía y potencia	10	9	8	9
Disponibilidad de materia prima	20	9	1	6
Condiciones climáticas y Cercanía a atractivos turísticos	5	6.8	2.6	8
<b>Total</b>	<b>100%</b>			

El análisis indica que San Sebastián presenta el puntaje ponderado más alto (7.97), mostrado en la Tabla N° 39, lo que refleja una mayor adecuación técnica y operativa para el desarrollo del proyecto, principalmente por su buena conectividad, disponibilidad de recursos y cercanía a fuentes de materia prima. Por tanto, se selecciona esta ubicación como la más favorable.

**Tabla 39**

*Selección y justificación de la localización*

Criterios	Puntaje		
	San Sebastián	Poroy	San Jerónimo
Cercanía al mercado	1.4	1.4	1.2
Vías de comunicación	0.88	0.58	0.78
Disponibilidad de mano de obra	0.45	0.05	0.35
Disponibilidad de suelos	0.46	0.86	0.66
Disponibilidad de recursos hídricos	1.74	1.26	1.74
Disponibilidad de energía y potencia	0.9	0.8	0.9
Disponibilidad de materia prima	1.8	0.2	1.2
Condiciones climáticas y Cercanía a atractivos turísticos	0.34	0.13	0.4
<b>Total</b>	<b>7.97</b>	<b>5.28</b>	<b>7.23</b>

### 3.3. Tamaño del proyecto

Para el estudio del tamaño del proyecto, se tomaron criterios para la selección del tamaño del proyecto.

#### 3.3.1. *Tamaño - Mercado*

En la provincia de Cusco, se estima una generación de 104,074.48 toneladas de residuos plásticos en el periodo de 10 años, según datos del MINAM y cálculos propios basados en la población urbana (Ministerio del Ambiente, 2024b). A esta cantidad se le resta la recolección actual que asciende a 644 toneladas métricas anuales.

Para el presente proyecto, se consideró cubrir el 50% de la demanda insatisfecha de la materia prima, con el fin de reducir el costo inicial de la planta y permitir un retorno de inversión más rápido, mostrada en la Tabla N° 25, durante todos los años del horizonte de evaluación. Esta proyección se presenta en la Tabla N° 40, y corresponde a la capacidad de operación de la planta desde su puesta en marcha hasta el final del periodo de análisis.

**Tabla 40**

*Estimación de la demanda proyectada de Residuos Plásticos*

<b>Año</b>	<b>PET (TM/año)</b>	<b>PP (TM/año)</b>	<b>PEAD (TM/año)</b>	<b>TOTAL (TM/año)</b>
2025	1356.3760	379.7346	514.7433	2250.8539
2026	1582.9416	488.6008	525.8256	2597.3680
2027	1843.9874	624.1276	537.4466	3005.5617
2028	2144.9422	792.9427	549.6357	3487.5206
2029	<b>2492.0844</b>	<b>1003.3335</b>	<b>562.4158</b>	<b>4057.8337</b>

<b>Año</b>	<b>PET (TM/año)</b>	<b>PP (TM/año)</b>	<b>PEAD (TM/año)</b>	<b>TOTAL (TM/año)</b>
2030	2492.0844	1003.3335	562.4158	4057.8337
2031	2492.0844	1003.3335	562.4158	4057.8337
2032	2492.0844	1003.3335	562.4158	4057.8337
2033	2492.0844	1003.3335	562.4158	4057.8337
2034	2492.0844	1003.3335	562.4158	4057.8337
<b>Total, estimado (TM/año)</b>	21,880,753.70	8,305,406.76	5,502,146.06	<b>35688.3065</b>

### 3.3.2. *Tamaño – Economías de escala*

La planta recicladora alcanzará su capacidad máxima en el año 2029, con una producción total de 2,492,084.41 TM/año, 1003.33 TM/año y 562.42 TM/año de hojuelas recicladas PET, PP y PEAD respectivamente. Esta cantidad representa el 50% de la demanda insatisfecha de la materia prima en la provincia del Cusco en el año 2029, la cual se mantendrá constante en los siguientes años, hasta el 2034.

#### **Tabla 41**

*Cantidad de hojuelas PET, PP y PEAD producidas por año*

<b>AÑO</b>	<b>PET (Kg/año)</b>	<b>PP (Kg/año)</b>	<b>PEAD (Kg/año)</b>	<b>Total (Kg/año)</b>
<b>2025</b>	1,038,062.13	219,059.74	424,371.59	1,038,062.13
<b>2026</b>	1,211,457.36	281,862.07	433,508.20	1,211,457.36
<b>2027</b>	1,411,241.06	360,044.20	443,088.96	1,411,241.06
<b>2028</b>	1,641,567.87	457,429.55	453,138.07	1,641,567.87
<b>2029</b>	1,907,242.84	578,798.95	463,674.42	1,907,242.84

En la Tabla 41, se observa la producción total de plásticos por año y los costos anuales estimados se muestra en la Tabla 42, dichos conceptos son detallados en el capítulo 8.2 del presente trabajo.

**Tabla 42**

*Costos anuales de PET, PP y PEAD*

CONCEPTO	2025	2026	2027	2028	2029
<b>Costos Directos</b>	1,301,924.23	1,419,610.01	1,559,324.49	1,722,696.20	1,915,984.73
<b>Costos Indirectos</b>	560,697.78	560,697.78	560,697.78	560,697.78	560,697.78
<b>Costos Administrativos</b>	105,336.96	105,336.96	105,336.96	105,336.96	105,336.96
<b>Mitigación del suelo</b>	249.1475339	287.76	333.40	387.36	451.16
<b>Costo mitigación de agua</b>	16,124.00				
<b>Implementación Recirculación</b>	8,724.90				
<b>Total, estimado (S/)</b>	1,993,057.02	2,085,932.51	2,225,692.63	2,389,118.29	2,582,470.63

Con esta información, se calcula el costo unitario de producción como se observa en la Tabla 43 utilizando la siguiente fórmula (Candazuri Aguilera et al., 2020):

$$\text{Costo unitario (S/./kg)} = \frac{\text{Costo total anual}}{\text{Producción total anual (kg)}} \quad (10)$$

**Tabla 43**

*Costo Unitario de Producción*

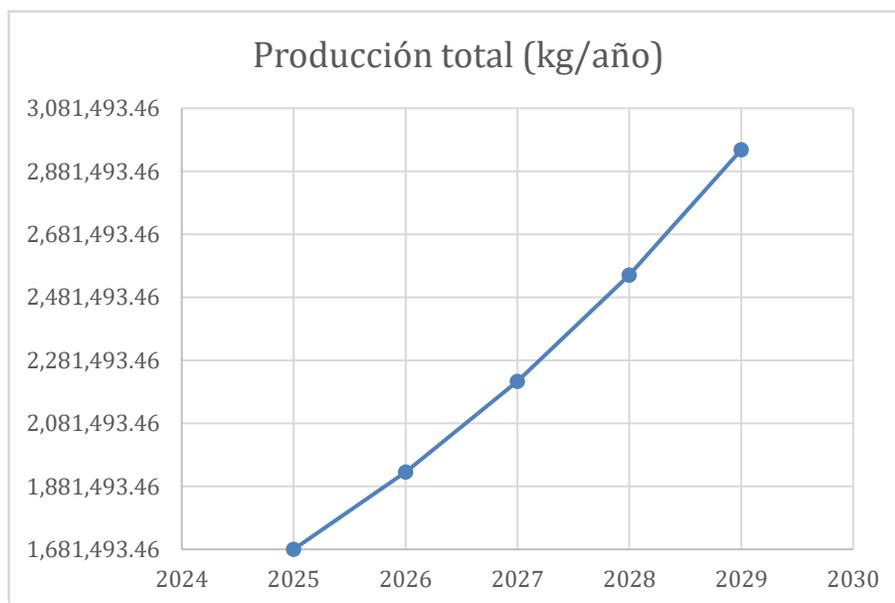
Año	Producción total (kg/año)	Costo total estimado (S/.)	Costo unitario (S/./kg)
2025	1,681,493.46	1,993,057.02	1.185
2026	1,926,827.63	2,085,932.51	1.083

<b>Año</b>	<b>Producción total (kg/año)</b>	<b>Costo total estimado (S/.)</b>	<b>Costo unitario (S/./kg)</b>
2027	2,214,374.22	2,225,692.63	1.005
2028	2,552,135.49	2,389,118.29	0.936
2029	2,949,716.20	2,582,470.63	0.875

Finalmente, en la Figura 5 correspondiente se observa una tendencia descendente del costo unitario a lo largo de los años, lo que evidencia la presencia de economías de escala. A medida que se incrementa el volumen de producción, los costos fijos se distribuyen entre una mayor cantidad de unidades producidas, reduciendo así el costo por kilogramo de producto y aumentando la eficiencia económica del proyecto.

### Figura 5

*Tendencia de la producción total a lo largo de los años*



### 3.3.3. Tamaño - Materia Prima

El tamaño de una planta recicladora está condicionado, entre otros factores, por la continuidad y volumen disponible de materia prima en su entorno geográfico. En este caso, el

proyecto se localiza en la provincia de Cusco, donde se ha identificado una generación constante y significativa de residuos plásticos urbanos que pueden ser utilizados como insumo.

A diferencia de la demanda de mercado o la eficiencia por escalamiento, este análisis se centra en la capacidad de abastecimiento real y sostenible. La planta proyectada trabajará con tres tipos de plásticos: PET, PP y PEAD, se ha calculado que puede procesar hasta 1,907,242.84, 578,798.95, 463,674.42 kg/año respectivamente en su punto de máxima capacidad (año 2029) como se puede observar en la Tabla N° 41.

#### **3.3.4. Tamaño – Tecnología y procesos**

El tamaño de la planta recicladora también está estrechamente relacionado con la tecnología y los procesos implementados, ya que estos definen la capacidad operativa, la eficiencia en el tratamiento de los residuos plásticos y la calidad del producto final (Proyecciones y Oportunidades de Inversión en Chile, 2021).

Para alcanzar la producción máxima estimada de 2,949,716.20 kg/año en 2029, se ha diseñado la implementación de dos líneas de reciclaje:

- Una línea exclusiva para PET, debido a sus características particulares de limpieza y tratamiento.
- Una línea compartida para PP y PEAD, que tienen requerimientos similares en sus procesos de transformación.

Estas líneas operarán de forma paralela y continua, optimizando los recursos disponibles, reduciendo tiempos de procesamiento y asegurando una calidad homogénea en las hojuelas plásticas obtenidas.

A continuación, en la Tabla 44 se detalla la maquinaria requerida para el funcionamiento eficiente de ambas líneas.

**Tabla 44**

*Maquinaria Requerida para el Funcionamiento de la Planta*

<b>Equipo</b>	<b>Función principal</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Transportadora de Banda</b>	Trasladar material entre etapas del proceso	Línea PET, PP y PEAD
<b>Trommel</b>	Separar residuos grandes o no aptos mediante cribado	Línea PET
<b>Saca etiquetas</b>	Remover etiquetas adheridas a los envases	Línea PET
<b>Mesa de clasificación manual</b>	Selección manual de plásticos no reciclables o contaminantes	Línea PET, PP y PEAD
<b>Molino</b>	Reducción de tamaño del plástico (trituración)	Línea PET, PP y PEAD
<b>Tornillo</b>	Transporte interno del material en etapa de lavado	Línea PET, PP y PEAD
<b>Lavadora en caliente</b>	Limpieza profunda con detergente a altas temperaturas	Línea PET, PP y PEAD
<b>Enjuague</b>	Eliminación de detergentes y residuos remanentes	Línea PET, PP y PEAD
<b>Separación por densidad</b>	Segregación por tipo de polímero usando agua y densidad del material	Línea PET
<b>Secado por aire caliente</b>	Eliminación de humedad del material después del lavado	Línea PET, PP y PEAD
<b>Almacenamiento en tolva</b>	Acopio temporal del material procesado	Línea PET, PP y PEAD
<b>sistema de control eléctrico</b>	Automatización, monitoreo y control de todo el proceso productivo	Línea PET, PP y PEAD
<b>Maquina afiladora de cuchillos</b>	Mantenimiento de cuchillas del molino y otros equipos	Línea PET, PP y PEAD

### 3.3.5. *Tamaño – Capacidad Gerencial*

Se ha considerado una organización con un total de 47 trabajadores, de los cuales 35 corresponden a mano de obra directa (M.O.D.) y 12 a mano de obra indirecta (M.O.I.).

La mano de obra directa está compuesta principalmente por personal involucrado en la recolección, clasificación, molienda, lavado, secado y envasado del material reciclado. En tanto, la mano de obra indirecta está formada por personal administrativo, operativo y de apoyo, incluyendo las áreas de gerencia general, producción, finanzas, comercialización, seguridad y salud ocupacional, recursos humanos y servicios auxiliares como limpieza y vigilancia.

La capacidad gerencial estará liderada por un gerente general con experiencia en gestión industrial y ambiental, quien trabajará en coordinación con jefaturas clave para asegurar el cumplimiento de metas de productividad, eficiencia, sostenibilidad y calidad (Equipo editorial de Indeed, 2025).

Este equipo será responsable de:

- Coordinar estratégicamente la operación de la planta.
- Supervisar el desempeño del personal técnico y operativo.
- Asegurar el cumplimiento normativo ambiental y laboral.
- Establecer relaciones con aliados estratégicos (municipalidades, clientes, proveedores).
- Garantizar la mejora continua de los procesos.

### **3.3.6. *Tamaño – Capacidad de inversión***

El tamaño del proyecto también está determinado por la capacidad de inversión necesaria para su implementación y sostenimiento. En este caso, la planta recicladora requerirá una inversión total de S/ 5,208,154.92, que incluye activos fijos tangibles e intangibles, así como capital de trabajo para los primeros cuatro meses de operación.

El financiamiento se estructurará mediante un esquema mixto compuesto por aportaciones de socios (60%) y un crédito bancario (40%), el cual será gestionado a través del Banco de Crédito

del Perú (BCP) bajo condiciones financieras establecidas: una TEA del 12%, cuota inicial del 10%, y un plazo de 60 cuotas mensuales. La inversión permitirá cubrir la adquisición de terreno, construcción de infraestructura, compra e instalación de maquinaria, equipos de transporte, mobiliario de oficina, y los insumos necesarios para el funcionamiento inicial de la planta.

### **3.3.7. Tamaño – Localización**

La planta se ubicará en la provincia de Cusco, una decisión estratégica basada en los siguientes criterios:

- **Disponibilidad de materia prima:** Cusco genera una gran cantidad de residuos plásticos (Ministerio del Ambiente, 2020a). Además, ya se tiene identificado el volumen recolectado mensualmente, lo que garantiza un flujo constante de materia prima para el funcionamiento sostenido de la planta.
- **Accesibilidad y logística:** La localización permite una adecuada conectividad con los ocho distritos de intervención del plan de recolección, lo que facilita el transporte eficiente de los residuos hacia la planta. También se encuentra a una distancia razonable de las rutas hacia mercados potenciales de venta o distribución del material reciclado.
- **Infraestructura básica disponible:** La zona seleccionada para la instalación de la planta cuenta con acceso a servicios esenciales como agua, electricidad, desagüe, telecomunicaciones y vías de acceso, lo cual reduce costos adicionales de implementación.
- **Impacto social y ambiental:** La elección de Cusco como sede del proyecto también contribuye al desarrollo económico local y promueve la conciencia

ambiental, generando empleo directo e indirecto y mejorando la gestión de residuos sólidos en la región.

### **3.3.8. Tamaño – Regulaciones y normativas**

El tamaño del proyecto está condicionado por diversas normativas legales, técnicas y ambientales vigentes en el país. Entre las principales regulaciones se encuentran:

- **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos y su Reglamento**, que regula el manejo adecuado de residuos y obliga a cumplir con estándares técnicos y ambientales (Ministerio del Ambiente, 2017b)
- **Reglamento Nacional de Edificaciones y normas de seguridad**, que determinan el área constructiva y las condiciones de seguridad del proyecto (Ministerio de Vivienda, 2021).
- **Licencias y autorizaciones** como el Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) y la licencia de funcionamiento, que pueden depender de la capacidad operativa (Ministerio del Ambiente, 2021b)
- **Normativa laboral y de seguridad ocupacional**, que exige condiciones adecuadas para el personal y espacios seguros de trabajo (Presidencia de la República del Perú, 2016).

En resumen, el tamaño de la planta ha sido definido considerando estas normativas para asegurar su viabilidad legal, técnica y ambiental.

### **3.3.9. Tamaño - Flexibilidad y adaptabilidad**

El diseño de la planta recicladora contempla un horizonte operativo de diez años. No obstante, se ha considerado cierto grado de flexibilidad en su infraestructura y capacidad instalada. Si bien actualmente se operará en un solo turno, existe la posibilidad de ampliar a más turnos diarios en caso de un incremento en la demanda.

Asimismo, las maquinarias seleccionadas han sido dimensionadas para soportar un mayor flujo de residuos plásticos, lo cual permite un aumento en la producción sin requerir una reinversión inmediata en nuevos equipos. En cuanto al espacio físico, aunque se cuenta con un terreno de 1,000 m<sup>2</sup>, la distribución ha sido diseñada de forma eficiente, permitiendo cierta expansión interna sin necesidad de adquirir terrenos adicionales a corto plazo.

### **3.3.10. Tamaño - Análisis de costos**

El análisis de costos para la planta recicladora considera tanto los costos fijos como los variables asociados a diferentes tamaños de producción.

**Costos fijos:** incluyen las inversiones en activos fijos tangibles e intangibles como terreno, infraestructura, maquinaria, equipo de oficina, así como los costos administrativos y financieros. Estos costos permanecen constantes independientemente del nivel de producción, siendo un componente esencial para determinar la capacidad mínima rentable de la planta.

**Costos variables:** están relacionados con los insumos y servicios que dependen directamente del volumen de producción, tales como mano de obra directa, energía eléctrica, agua, materiales consumibles (detergente, soda cáustica), transporte, entre otros. Estos costos aumentan proporcionalmente con la producción.

### 3.3.11. Selección del tamaño

La selección del tamaño de la planta recicladora se basa en un análisis exhaustivo de la capacidad productiva, la disponibilidad de materia prima, la inversión requerida y los costos asociados al proyecto.

#### **Capacidad productiva**

Según la proyección de producción, la planta alcanzará su capacidad máxima en el año 2029 con una producción total de 2,949,716.20 kg/año de hojuelas plásticas (PET, PP y PEAD), detallados en tabla N° 41, distribuidos de la siguiente manera:

- PET: 1,907,242.84 kg/año
- PP: 578,798.95 kg/año
- PEAD: 463,674.42 kg/año

La planta está diseñada para operar inicialmente con un turno de trabajo, lo que es compatible con la disponibilidad de materia prima y la capacidad instalada de la maquinaria. Además, el espacio disponible de 1,000 m<sup>2</sup> para la instalación de equipos ha sido sobredimensionado para garantizar la acomodación adecuada de la maquinaria y permitir un posible aumento en la operación sin necesidad inmediata de ampliar la infraestructura.

Aunque el proyecto está proyectado para un horizonte de 10 años, la capacidad de la maquinaria y la infraestructura permiten una flexibilidad operativa para aumentar turnos o adaptar procesos en función de futuras variaciones en la demanda o la incorporación de nuevas tecnologías.

El tamaño óptimo de la planta corresponde a la capacidad máxima proyectada para el año 2029, ya que representa el equilibrio entre la demanda del mercado, la capacidad técnica instalada, los costos operativos y la inversión financiera. Esta escala asegura la rentabilidad del proyecto, la sostenibilidad operativa y ofrece flexibilidad para ajustes futuros.

### **3.4. Ingeniería del Proyecto**

#### ***3.4.1. Periodo operacional estimado de la planta***

La vida útil del proyecto de producción de hojuelas de plásticos PET, PP y PEAD a partir del reciclaje se establece en 10 años, considerando factores técnicos, operativos y económicos que influyen en su sostenibilidad en el tiempo.

##### **3.4.1.1. Justificación Técnica**

Los equipos principales utilizados en el proceso, como las máquinas de lavado, secado y molienda, tienen una vida útil estimada de 10 a 15 años. Sin embargo, debido al uso continuo y a la exposición a materiales abrasivos, se espera que, tras 10 años de operación, sea necesario reemplazar o modernizar una parte significativa de la maquinaria para mantener la eficiencia productiva.

##### **3.4.1.2. Mantenimiento y Desgaste**

El mantenimiento preventivo y correctivo permitirá prolongar el funcionamiento de los equipos, pero con el paso del tiempo, los costos de reparación pueden aumentar progresivamente. Se estima que después de una década, la planta requerirá una evaluación para determinar la viabilidad de reinvertir en nueva tecnología o realizar una reestructuración.

##### **3.4.1.3. Factores Económicos**

Desde el punto de vista financiero, la recuperación de la inversión está proyectada en los 5 primeros años, permitiendo garantizar un margen de rentabilidad adecuado antes de que el desgaste de los equipos y posibles cambios en la industria exijan una inversión significativa en

modernización. Además, esta duración es suficiente para consolidar la operación del proyecto y evaluar su continuidad en función del rendimiento obtenido.

#### **3.4.1.4. Cambios en el Mercado y Regulaciones**

El sector del reciclaje de plásticos está en constante evolución, con innovaciones tecnológicas y cambios en normativas ambientales que pueden afectar la viabilidad del proyecto a largo plazo. Considerando la posibilidad de nuevas regulaciones o avances en técnicas de reciclaje, se estima que un período de 10 años es adecuado antes de evaluar la continuidad o adaptación del negocio a nuevas condiciones del mercado.

#### **3.4.2. Elección del Proceso Productivo**

La elección del proceso productivo se centra específicamente en el tipo de lavado (caliente o frío), ya que el resto de las etapas como la clasificación manual, la molienda, el enjuague, la separación por densidad (en el caso del PET) y el secado, corresponden a operaciones mecánicas estandarizadas dentro del reciclaje de plásticos.

El uso de molinos por cuchillas, fajas transportadoras y sistemas de secado representa procesos mecánicos cuya configuración y funcionamiento ya están definidos técnicamente para cada tipo de polímero (PET, PP y PEAD). Sin embargo, el lavado representa una etapa crítica, ya que influye directamente en la calidad de la hojuela obtenida y varía significativamente dependiendo de si se emplea un sistema de lavado en caliente o en frío.

Por esta razón, el análisis técnico y económico se ha enfocado en comparar ambas alternativas de lavado, siendo esta etapa la variable diferenciadora clave dentro del proceso global. La decisión sobre el tipo de lavado impacta directamente en la eficiencia del sistema, la pureza del producto final, el consumo de recursos y el posicionamiento comercial del proyecto.

### 3.4.2.1. Elección por Ponderaciones entre Lavado en Caliente y Lavado en frío

#### ➤ Eficiencia de limpieza (Peso: 35%)

Este criterio mide qué tan eficaz es el proceso para remover suciedad, restos orgánicos, aceites, etiquetas y contaminantes adheridos al plástico.

**Lavado en caliente:** Usa agua a alta temperatura (60–80 °C), combinada con detergentes y soda cáustica. Esto permite eliminar hasta los residuos más difíciles (grasas, adhesivos, restos de alimentos), lo que mejora la pureza del material reciclado.

**Lavado en frío:** Utiliza agua a temperatura ambiente con detergentes suaves. Aunque es funcional para residuos superficiales, no elimina completamente grasas o adhesivos, lo cual puede disminuir la calidad del producto final.

#### ➤ Calidad del producto final (Peso: 25%)

Evalúa el resultado en cuanto a pureza, apariencia, olor, humedad y capacidad de reutilización industrial de la hojuela.

**Lavado en caliente:** Obtiene hojuelas con pureza y humedad menor, lo que las hace aptas para procesos como extrusión e inyección. También reduce olores y mejora el aspecto visual del producto.

**Lavado en frío:** La calidad de la hojuela puede verse afectada por la presencia de residuos grasos o mal olor. El producto resultante no alcanza el mismo nivel de limpieza ni de valor de reventa.

#### ➤ Consumo de energía y agua (Peso: 15%)

Analiza el nivel de recursos hídricos y energéticos requeridos para operar cada sistema.

**Lavado en caliente:** Requiere calentamiento constante del agua, lo cual implica un mayor consumo de energía (eléctrica o térmica). Además, demanda más agua por los ciclos de enjuague adicionales.

**Lavado en frío:** Consume menos energía al no requerir calentamiento. También requiere menos agua, por lo que resulta más eficiente en este aspecto.

➤ **Costo operativo (Peso: 15%)**

Considera los costos recurrentes de energía, agua, insumos químicos, mantenimiento y personal.

**Lavado en caliente:** Tiene costos más altos por el uso de energía, soda cáustica y sistemas de calentamiento. También demanda más mantenimiento preventivo en los equipos debido a la temperatura.

**Lavado en frío:** Es más económico de operar, ya que no utiliza calor, emplea menos insumos químicos y sus equipos suelen ser más simples y de bajo mantenimiento.

➤ **Viabilidad técnica (Peso: 10%)**

Evalúa la facilidad de implementación técnica, disponibilidad de equipos y nivel de complejidad operativa.

**Ambos (Lavado en Caliente y Frío):** Ambos sistemas son técnicamente viables para implementarse en plantas de reciclaje a escala industrial. No presentan barreras significativas en cuanto a disponibilidad de maquinaria o capacitación del personal.

En la Tabla N° 45, se presenta el resumen de la calificación por criterios, para una correcta elección entre el lavado en caliente y frío, brindándole pesos específicos a cada criterio.

**Tabla 45***Elección por ponderaciones de Lavado en caliente o frío*

<b>Criterio</b>	<b>Peso (%)</b>	<b>Lavado en caliente</b>	<b>Lavado en frío</b>
<b>Eficiencia de limpieza</b>	35	10	6
<b>Calidad del producto final</b>	25	9	6
<b>Consumo de energía y agua</b>	15	4	8
<b>Costo operativo</b>	15	4	8
<b>Viabilidad técnica</b>	10	8	8
<b>Total, ponderado</b>	<b>100</b>	<b>7.75</b>	<b>6.8</b>

Donde, la Escala de calificación es la siguiente (será usado en todo el presente trabajo):

- 10 = Muy favorable
- 1 = Nada favorable
- Puntaje total = Suma de [Peso × Puntaje]

Aunque el lavado en frío presenta ventajas en consumo de recursos y costos, el proyecto está orientado a obtener hojuelas de alta calidad, limpias y comercialmente competitivas, por lo que se valoran más la eficiencia de limpieza y la calidad del producto final.

Con un puntaje total ponderado de 7.75 frente a 6.80, se concluye que el lavado en caliente es la alternativa más adecuada para garantizar los estándares técnicos y comerciales del proyecto.

Como proceso productivo, se tomó como referencia un proceso de una planta de reciclaje mecánico de residuos posconsumo: envases PET de estudios previos en trabajos de Bejar Sanchez

(2019) y Huaytalla Bellido (2019), las cuales constan de diversas etapas acorde al tipo de plástico utilizado en el sistema (Bejar Sanchez, 2019; Huaytalla Bellido, 2019).

#### **3.4.2.2. Proceso de producción de hojuelas de PET reciclados**

El proceso de producción de Hojuelas PET de material reciclado, consta de las siguientes etapas:

- Recepción de Materia Prima.
- Clasificación/Separación Manual.
- Saca etiquetas.
- Trommel.
- Molienda.
- Lavado en caliente.
- Enjuague.
- Separación por densidad.
- Secador.
- Envasado.

#### **3.4.2.3. Proceso de producción de hojuelas de PP y PEAD reciclados**

Respecto a los procesos para la producción de Hojuelas PP y PEAD, se tiene lo siguiente:

- Recepción de Materia Prima.
- Clasificación/Separación Manual.
- Molienda.
- Lavado en caliente.
- Enjuague.

- Secador.
- Envasado.

### ***3.4.3. Descripción detallada del proceso: Producción de Hojuelas de Plástico a partir de residuos plásticos domiciliarios de PET, PP y PEAD en la Provincia del Cusco***

#### **3.4.3.1. Recolección de Materia Prima**

La materia prima provendrá de la recolección de residuos urbanos directamente de los domicilios, para lo cual se ofrecerá un servicio de recojo en domicilios. Con una alianza estratégica con las Municipalidades de los 8 distritos de la provincia del Cusco, mediante un acuerdo en el que cada Municipalidad Distrital, se compromete a capacitar a sus ciudadanos sobre la importancia del reciclaje y su participación activa en el proceso. Esto implica la separación de los residuos plásticos en bolsas distintas haciendo una clasificación previa desde cada hogar. Se entregarán 2 bolsas, una para la colocación de plásticos PET y otra de plásticos duros PEAD y PP. La empresa recogerá los residuos plásticos de cada hogar de forma gratuita.

#### **➤ Programa de Recolección de la Materia Prima**

El programa de recolección de los plásticos de origen domiciliario, consta de 5 etapas.

#### **1. Análisis Inicial y Planificación**

**a. Estudio de la Demanda y la Oferta.** - Identificación de fuentes de residuos plásticos: Hogares, empresas, instituciones educativas, mercados, entre otros.

**b. Adquisición de Equipos y Recursos.** - Camión de recolección: Adquirir un camión adecuado para la recolección y transporte de residuos plásticos.

Bolsas de recolección: Proporcionar bolsas reutilizables o biodegradables a los hogares para separar los desechos plásticos.

## **2. Campaña de Sensibilización y Educación**

**a. Comunicación y Publicidad.** - Campañas de concientización, utilizando medios de comunicación, redes sociales, y campañas en la comunidad para informar a los residentes sobre la importancia del reciclaje y cómo participar en el programa.

**b. Educación Comunitaria.** - Charlas y talleres, realizando eventos educativos en escuelas, centros comunitarios y otros lugares para enseñar a la comunidad cómo separar correctamente los residuos plásticos.

## **3. Implementación del Plan de Recolección**

**a. Distribución de Bolsas.** - Entrega de bolsas, distribuir las bolsas de recolección a los hogares participantes, junto con un manual de instrucciones sobre cómo separar y almacenar los residuos plásticos.

**b. Programación de Recolección.** - Rutas y horarios, se establecen rutas de recolección claras y horarios fijos.

Calendario de recolección, armar un calendario a los hogares con las fechas de recolección para cada zona.

## **4. Operación**

**a. Recolección de Residuos.** - Recolección directa de los hogares, el camión recoge las bolsas de plástico directamente de los domicilios en los días y horarios establecidos.

**b. Transporte.** - Los plásticos son transportados a la planta recicladora para su procesamiento.

## **5. Monitoreo y Evaluación**

**a. Evaluación de Resultados.** - Medición de la cantidad de plástico recolectado, llevando un registro de las cantidades recolectadas y procesadas.

Encuestas de satisfacción, se realiza encuestas a los participantes para evaluar la efectividad del programa y recoger sugerencias.

**b. Mejora Continua.** - Ajustes en la logística en las rutas, horarios y métodos de recolección basados en los datos recogidos y la retroalimentación de los participantes.

Expansión del programa, se evalúa la posibilidad de expandir el programa a más áreas o incluir otros tipos de residuos reciclables.

➤ **Identificación de zonas y rutas de recolección**

Según la base de datos del Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos Municipales de la Provincia del Cusco (PIGARS 2020-2025), los 8 distritos de la provincia del Cusco se cuantifican por zonas para una recolección ordenada, llamada también rutas de recolección (MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO-PIGARDS, 2020).

La tabla N° 46 muestra un resumen de la cantidad de zonas que presenta cada distrito estratégicamente.

**Tabla 46**

*Cantidad de Zonas de recolección por Distrito de la Provincia de Cusco*

<b>DISTRITO</b>	<b>CANTIDAD DE ZONAS</b>
Cusco	29
Ccorca	13
Poroy	18
San Jerónimo	15
San Sebastián	19
Santiago	16
Saylla	12
Wánchaq	12

**Fuente:** PIGARS, 2020-2025

En el ANEXO N° 2, se detalla cada zona por nombres y al distrito al cual pertenecen, data sacada del PIGARS 2020 – 2025.

➤ **Cantidad de residuos por distritos**

Para tener una cantidad aproximada de los residuos plásticos generados por distritos para el plan de recolección de materia prima, se tiene la Tabla N° 47 el cual se obtuvo del estudio previo del mercado de la materia prima, en el cual se muestra la cantidad en metros cúbicos por año / toneladas por año, generados en cada uno de los distritos del Cusco.

**Tabla 47**

*Cantidad de Residuos Plásticos Generados en la provincia del Cusco por distrito*

<b>Distrito</b>	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>/mes)</b>
Cusco	98.45576
Ccorca	0.4283
Poroy	1.8893
San Jerónimo	105.1430
San Sebastián	193.1360
Santiago	105.2884
Saylla	7.6287
Wánchaq	41.6296

El cual da alcance y solución para la planificación del sistema de recolección, la cantidad de vehículos con lo que se cuenta, su capacidad y el cronograma para la recolección en cada uno de los distritos acorde a la cantidad de residuos plásticos que generan.

➤ **Carros recolectores de residuos plásticos domiciliarios**

Para el recojo de los residuos plásticos domiciliarios (PET, PP y PEAD) en las zonas previamente clasificadas de la provincia del Cusco, se optó por el uso de 8 unidades vehiculares para recolección con capacidad de 5 m<sup>3</sup>.

Esta elección responde a un análisis técnico que considera los siguientes puntos:

**Abastecimiento para toda la provincia.** - La provincia del Cusco está compuesta por varios distritos urbanos y periurbanos con una alta densidad de población y generación de residuos plásticos. En base a la planificación de rutas y la capacidad diaria de recolección de cada vehículo, se ha determinado que cada unidad puede cubrir eficazmente entre 1 a 2 rutas por jornada. Con 8 vehículos, podemos cubrir de manera rotativa todas las zonas de la provincia, asegurando un servicio continuo y evitando acumulación de residuos.

**Mayor alcance geográfico.** - Algunos distritos se encuentran a mayor distancia del centro de acopio o planta de reciclaje, lo que implica más tiempo de recorrido. Disponer de más unidades permite operar simultáneamente en zonas alejadas y urbanas sin afectar los tiempos de recolección. Esto garantiza el alcance territorial total, evitando la necesidad de tercerizar rutas o dejar zonas desatendidas.

**Gestión de turnos y horarios.** - Contar con 8 unidades permite organizar turnos escalonados, incluyendo jornadas matutinas y vespertinas, según la accesibilidad y disponibilidad de residuos en cada zona. Además, permite realizar mantenimientos preventivos sin interrumpir el servicio, ya que se puede rotar el uso de los vehículos. Este esquema mejora la productividad del personal, reduce el desgaste de las unidades y optimiza el uso del combustible.

**Flexibilidad ante contingencias.** - La experiencia en operaciones logísticas muestra que siempre existe riesgo de fallas técnicas, mantenimiento imprevisto o eventos externos que afecten una unidad.

➤ **Planificación del cronograma de recolección**

Para el armado del cronograma de recolección de materia prima, se tiene en cuenta la cantidad de residuos plásticos generados por distritos, la cantidad de zonas por distrito, horario de trabajos, 8 horas diarias, y tomando en cuenta la cantidad de vehículos recolectores con los que se cuenta, en la Tabla N° 48 se aprecia con detalle el cronograma semanal y mensual del recojo por distritos, indicando la cantidad de vehículos que se destinan para la recolección a lado derecho de cada sigla del distrito correspondiente.

**Tabla 48**

*Cronograma de recojo de residuos plásticos por distritos*

<b>Calendario</b>						
Lunes 1	Martes 2	Miércoles 3	Jueves 4	Viernes 5	Sábado 6	Domingo 7
SJ-8	SS-8	SA-8	C-8	SJ-8	PO-3 W-3 CC-2	
Lunes 8	Martes 9	Miércoles 10	Jueves 11	Viernes 12	Sábado 13	Domingo 14
SJ-8	SS-8	SA-8	C-8	SJ-8	W-2 SY-2	
Lunes 15	Martes 16	Miércoles 17	Jueves 18	Viernes 19	Sábado 20	Domingo 21
SJ-8	SS-8	SA-8	C-8	SJ-8	W-3 PO-3 SS-2	
Lunes 22	Martes 23	Miércoles 24	Jueves 25	Viernes 26	Sábado 27	Domingo 28
SJ-8	SS-8	SA-8	C-8	SJ-8	W-3 SY-2	

Donde:

C: Distrito de Cusco

SA: Distrito de Santiago

SS: Distrito de San Sebastián

SJ: Distrito de San Jerónimo

WA: Distrito de Wánchaq

CC: Distrito de Ccorca

PY: Distrito de Poroy

SY: Distrito de Saylla

#### **3.4.3.2. Recepción de Materia Prima**

La recepción de la materia prima está dividida en dos etapas fundamentales.

##### **➤ Llegada de Material**

Cuenta con un control de acceso el cual consiste en:

**Verificación Documental.** - El personal de seguridad verifica la documentación de transporte del vehículo que llega, que incluye información sobre el origen del material (de que distrito proviene) y la cantidad estimada.

**Monitoreo rápido.** - Se realiza una inspección visual rápida para confirmar que el material transportado es lo que se requiere y no presenta señales visibles evidentes de contaminación severa o material no deseado.

**Autorización de Entrada.** - Solo los vehículos con documentación adecuada son autorizados para ingresar a las instalaciones.

➤ **Descarga del Material**

El material es descargado utilizando equipos adecuados cintas transportadoras. Este proceso debe ser realizado por personal capacitado para evitar accidentes y garantizar la seguridad.

**3.4.3.3. Clasificación y separación manual**

El proceso de clasificación de los plásticos PET, PP y PEAD es fundamental para asegurar la pureza y calidad del material reciclado. Este proceso comienza con la inspección visual en cintas transportadoras, donde los operarios inspeccionan y separan manualmente los plásticos.

➤ **Mesa de clasificación manual: PET**

En esta cinta se clasifica el PET los operarios separan envases de otros plásticos como PVC, PC y eliminan tapas, materiales no deseados como madera, piedras, fragmentos metálicos y basura, para proteger las máquinas en las etapas posteriores que estén sobre salientes, y visibles fácilmente.

➤ **Mesa de clasificación manual: PP y PEAD**

Similar al PET, los operarios separan otros plásticos y eliminan materiales no deseados. Para el caso del PP y PEAD, esta parte del proceso, es muy importante, ya que ambos comparten una misma línea de producción de hojuelas, por lo cual, prima la separación manual, ya que, al ser de similar densidad, una separación posterior, complica el proceso de separación de las hojuelas por tipo de plástico.

➤ **Identificación de Plásticos**

La identificación de los diferentes tipos de plásticos puede hacerse mediante los códigos numéricos del sistema de codificación de SPI (Sociedad de Industrias de Plástico) impresos en los

envases, aunque no siempre están presentes. Se emplean técnicas adicionales como el rasgado, el doblado y la evaluación de la transparencia:

**Doblado.** - El polietileno (PEAD) es flexible y vuelve a su estado original sin resquebrajarse, mientras que el poliestireno (PS) es quebradizo y el polipropileno (PP) puede resquebrajarse bajo presión.

**Rasgado.** - Este método permite reconocer los plásticos por la dificultad y profundidad de la marca dejada. El PS al ser rasgado no se marca como el PP o el PVC.

**Transparencia.** - Este método diferencia plásticos transparentes como PVC, polipropileno, acetato de celulosa (CA) y PET de otros que no lo son.

#### ➤ **Eliminación de Contaminantes**

Es crucial eliminar plásticos que no pueden ser separados por flotación en agua, como el PVC (Polivinilo), PS (Poliestireno) y PC (Policarbonato), debido a su alta densidad y sus efectos perjudiciales en el reciclaje del PET. El PVC, en particular, es un contaminante severo, ya que causa amarillamiento del PET y aparición de puntos negros cuando se procesa posteriormente. Además, el PVC ocasiona oxidación de la maquinaria durante el calentamiento, debido a la formación de HCl.

#### ➤ **Acondicionamiento**

Antes de la molienda, el PEAD y el PP de considerable tamaño se acondicionan cortándolos con sierras caladoras para facilitar el proceso.

#### **3.4.3.4. Almacenamiento de la materia prima**

El almacenamiento de la materia prima después de ser clasificada tiene un enfoque detallado asegurando una gestión eficiente, organizada y segura, facilitando la trazabilidad y el

control de calidad del material desde su recepción hasta su procesamiento final. Por lo que se toma en cuenta los siguientes ítems:

➤ **Organización del Almacén**

La organización del almacén de la materia prima está dada por la Segregación por Tipo de Plástico. El almacén se divide en zonas específicas para cada tipo de plástico (PET, PEAD y PP).

➤ **Procedimiento de Almacenamiento**

En el ingreso de la materia prima después de ser clasificada, se tomará en cuenta para tener la materia prima en excelentes condiciones para su ingreso en el proceso se toma en consideración lo siguiente:

**Control de Contaminantes.** - El almacén está diseñado para minimizar la exposición a contaminantes. Esto incluye áreas cerradas, control de polvo y protección contra la humedad.

➤ **Preparación y Despacho**

La preparación de la materia prima para procesamiento consiste en:

**Selección y Retiro del Material.** - Cuando se necesita material para el procesamiento, se selecciona y retira del almacén según las órdenes de clasificación previa, y se asegura que el material seleccionado cumpla con los requisitos específicos del proceso.

**Documentación de Movimientos.** - Cada movimiento de material desde el almacén al área de procesamiento se documenta en el sistema de gestión de inventarios, asegurando la trazabilidad y la coherencia en los registros.

### **3.4.3.5. Saca etiquetas**

El proceso de eliminación de etiquetas del PET es esencial antes de la molienda para garantizar la pureza del material reciclado. Este procedimiento comienza con las botellas almacenadas, que se entregan a la máquina saca etiquetas mediante una cinta transportadora.

La máquina saca etiquetas es un equipo crucial en el reciclaje, elimina las etiquetas de las botellas. Las botellas pasan a través de cuchillos resistentes, afilados y dentados de aleación que cortan y despegan las etiquetas de las botellas de plástico. Al mismo tiempo, los ventiladores incorporados generan un fuerte viento que separa las botellas de las etiquetas.

Finalmente, las botellas, ya despojadas de las etiquetas, se expulsan para su posterior procesamiento, mientras que las etiquetas se soplan en un conducto de recolección. Este proceso asegura que las botellas de PET estén limpias y libres de etiquetas, preparándose adecuadamente para la molienda.

### **3.4.3.6. Trommel**

El Trommel es un equipo de separación y clasificación utilizado en el tratamiento del PET. En este proceso, el Trommel actúa como un tamiz rotatorio que permite la separación de materiales según su tamaño y forma.

#### **➤ Funcionamiento del Trommel en el tratamiento de PET**

**Alimentación.** - El PET ingresará junto con otros residuos plásticos y partículas no deseadas.

**Rotación y cribado.** - A medida que el tambor gira, los materiales más pequeños (polvo, suciedad y residuos finos) caen a través de las perforaciones, separándose del PET.

**Clasificación preliminar.** - El Trommel ayuda a segregar fracciones no deseadas, como etiquetas, restos de adhesivo y otros residuos livianos.

**Preparación para etapas posteriores:** El PET clasificado continúa hacia procesos como el triturado y lavado térmico.

### **3.4.3.7. Molino**

La etapa de la molienda es muy importante en el proceso por lo que el uso del equipo es fundamental, el molino a usar es el Molino Multiusos, diseñado para manejar diferentes tipos de plásticos, como PET, PP y PEAD. Este molino está configurado con cuchillas ajustables para adaptarse a las características específicas de cada tipo de plástico. Se hace uso de dos molinos, uno para el proceso de PET; el otro para el proceso de PEAD y PP.

**Ajuste de Parámetros.** - Antes de comenzar la molienda, se ajustan los parámetros del molino, como la velocidad de las cuchillas y la configuración de las pantallas de salida, para optimizar el proceso de molienda y obtener el tamaño de partícula deseado.

**Se hace un control del tamaño de la hojuela resultante.** - Durante la operación del molino, se monitorea y controla el tamaño de las partículas resultantes para asegurar que cumplan con los requisitos específicos del proceso de reciclaje posterior.

Se tienen dos parámetros importantes para el tamaño de hojuela resultante:

#### **➤ Velocidad de las Cuchillas**

La velocidad de las cuchillas en el molino afecta directamente el tamaño de las partículas. A mayor velocidad, las cuchillas cortan y trituran el material más rápidamente, lo que tiende a producir partículas más pequeñas.

Los molinos permiten ajustar la velocidad de las cuchillas mediante controles específicos. Esto proporciona flexibilidad para adaptar la operación del molino según las características del material y los requisitos del tamaño de partícula deseado.

#### ➤ **Tamaño de las Aberturas en las Pantallas**

Las pantallas ubicadas en la salida del molino tienen aberturas de diferentes tamaños. Estas aberturas determinan el tamaño máximo de las partículas que pueden pasar a través de ellas después de ser cortadas por las cuchillas.

Pantallas con aberturas más pequeñas producirán partículas más finas, mientras que aberturas más grandes generarán partículas más grandes.

Las pantallas son intercambiables y ajustables, lo que permite cambiarlas según las necesidades del proceso de reciclaje. Al ajustar las pantallas, se controla la salida del material molido para asegurar que cumpla con los estándares de calidad y tamaño requeridos.

Una vez molido, la hojuela pasa a los equipos de lavado en caliente correspondiente de acuerdo al tipo de plástico, ya sea hojuela de PET, PP o PEAD.

#### **3.4.3.8. Lavado en caliente**

El lavado en caliente es una etapa fundamental del proceso de reciclaje mecánico que tiene como objetivo eliminar impurezas adheridas a los residuos plásticos, como restos de alimentos, grasas, etiquetas con pegamentos, detergentes o sustancias orgánicas difíciles de remover con agua fría.

En el proyecto, se implementan dos sistemas de lavado en caliente diferenciados:

Uno exclusivo para PET (polietileno tereftalato), y otro para PEAD (polietileno de alta densidad) y PP (polipropileno).

Ambos sistemas utilizan agua a altas temperaturas (entre 80 °C y 90 °C) mezclada con detergentes y soda caustica, dependiendo del tipo de plástico, en tanques equipados con agitadores mecánicos. Esta etapa mejora significativamente la calidad del producto final (hojuelas limpias), y previene la degradación del material durante su almacenamiento o procesamiento posterior.

#### **3.4.3.9. Enjuague**

El enjuague es la etapa posterior al lavado en caliente y tiene como finalidad remover los residuos de detergentes, químicos y suciedad suelta que hayan quedado adheridos a las hojuelas plásticas. Esta etapa es crucial para garantizar que el producto final esté libre de contaminantes que puedan interferir en su reutilización industrial o afectar su valor comercial.

En el proyecto, el enjuague se realiza con agua a temperatura ambiente. Se utilizan tanques con sistema de agitación o cintas transportadoras con duchas de enjuague a presión, que permiten un contacto constante y eficiente entre el agua limpia y las hojuelas.

Al igual que en el lavado en caliente, el enjuague se realiza en dos líneas separadas: una para PET, y otra para PEAD y PP, evitando así la mezcla de materiales y mejorando la calidad del reciclado.

Esta etapa es fundamental para:

- Reducir la conductividad y presencia de residuos químicos.
- Facilitar un secado más eficiente.
- Asegurar un producto más limpio y de mayor pureza.

El agua utilizada en esta etapa será filtrada y recirculada, para minimizar el consumo hídrico y asegurar una operación más sostenible.

#### **3.4.3.10. Separación por densidad**

El proceso de separación por densidad del PET es fundamental para asegurar la pureza del material reciclado después de la molienda. Este procedimiento utiliza las distintas densidades de los plásticos para separar y eliminar los contaminantes.

Las hojuelas de PET llegan a tanques de flotación llenos de agua, en el fondo de los tanques, un tornillo sin fin gira lentamente. Las etiquetas, las tapas, trazas remanentes de otros plásticos, y otras partículas que podrían perjudicar el proceso en etapas posteriores. Aprovechando las diferencias de densidad, este proceso asegura que sólo el PET, que es más denso, se hunda y sea transportado para el procesamiento posterior.

Este proceso de separación por densidad es crucial para obtener una mayor purificación del PET reciclado, garantizando que esté libre de contaminantes y preparado para su reutilización en productos de alta calidad.

#### **3.4.3.11. Secado**

Este sistema utiliza un tubo espiralado, con forma de serpentina, por donde se hace circular el plástico lavado mientras se inyecta aire caliente a alta velocidad. A través del recorrido en espiral, el aire caliente evapora la humedad del material, asegurando un secado más eficiente en un espacio compacto.

#### **3.4.3.12. Envasado**

Una vez que se haya reunido una cantidad considerable de plástico para envasar, el plástico se envasa en sacos de polipropileno, cada uno con una capacidad de 50 kg, los sacos se cosen con agujas curvas y rafia, para su posterior almacenamiento y venta.

### 3.4.3.13. Control de calidad

Algunas de las características más relevantes que se controlan en los plásticos reciclados incluyen la densidad y el punto de fusión.

#### ➤ La densidad

Para medir la densidad, se utiliza un método donde se mide el peso de una cantidad de hojuelas y se determina su volumen sumergiéndola en agua en una probeta. El aumento en el nivel del agua permite calcular el volumen y, por ende, la densidad del material.

$$\text{Densidad (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Masa (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}} \quad (11)$$

Para el cálculo de la densidad del PEAD y PP se hace el uso de alcohol en lugar del agua.

#### ➤ El punto de fusión

El punto de fusión se determina calentando las escamas de PET, PEAD y PP en un recipiente metálico sobre un mechero de Bunsen y midiendo la temperatura a la que comienza a fluir el material.

#### ➤ Peso Correcto

Además, es crucial controlar el peso uniforme de los bolsones llenos de hojuelas asegurando así la consistencia en el proceso de llenado.

Estos controles no solo garantizan la calidad del producto final, sino que también permiten ajustar y mejorar continuamente los procesos para cumplir con los estándares requeridos por los clientes.

### ➤ **Grado de Humedad**

Uno de los desafíos encontrados al recuperar los residuos generados en el procesamiento de botellas de PET, está en el secado de las hojuelas. Los proveedores de materiales recomiendan que el PET sea pre secado hasta un nivel de humedad final de 0,3% a 0,5% antes de fundirlo, a fin de evitar cualquier posibilidad de degradación hidrolítica y afecte la producción de futuros productos que parten de las hojuelas como materia prima.

#### **3.4.3.14. Almacén del producto**

Las hojuelas de plástico ya embolsadas, se almacenan en un depósito destinado como almacén del producto, donde esperan ser vendidas y salir de la empresa.

#### **Diagrama de bloques**

Se realizó el diagrama de bloques con el objetivo de representar de manera clara y ordenada las etapas principales de cada uno de los procesos de reciclaje, para el PET, PP y PEAD. Este diagrama permite visualizar de forma general las operaciones involucradas desde la recepción del material hasta la obtención final de las hojuelas limpias y secas, listas para la venta.

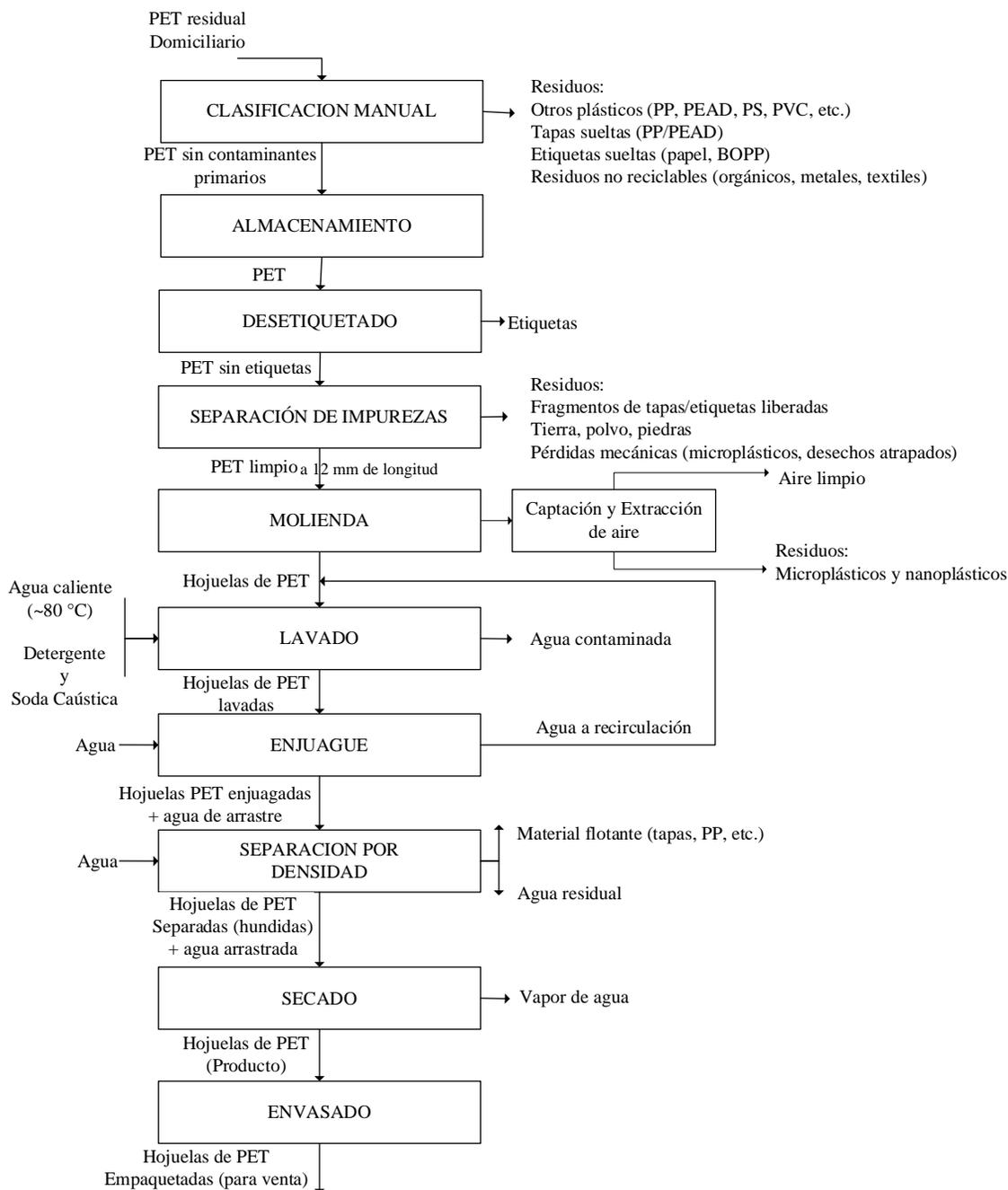
A través de esta herramienta, se simplificó la comprensión de los procedimientos, identificando cada etapa crítica y facilitando la planificación del proceso productivo. Para cada tipo de plástico, diseñamos un diagrama de bloques específico, considerando sus características particulares y las operaciones necesarias: clasificación, molienda, lavado, separación por densidad, enjuague y secado.

De este modo, el diagrama de bloques se convirtió en una guía fundamental para estructurar el proyecto y entender las diferencias técnicas entre el tratamiento del PET, el PP y el PEAD

## Diagrama de Bloques para el proceso del PET

**Figura 6**

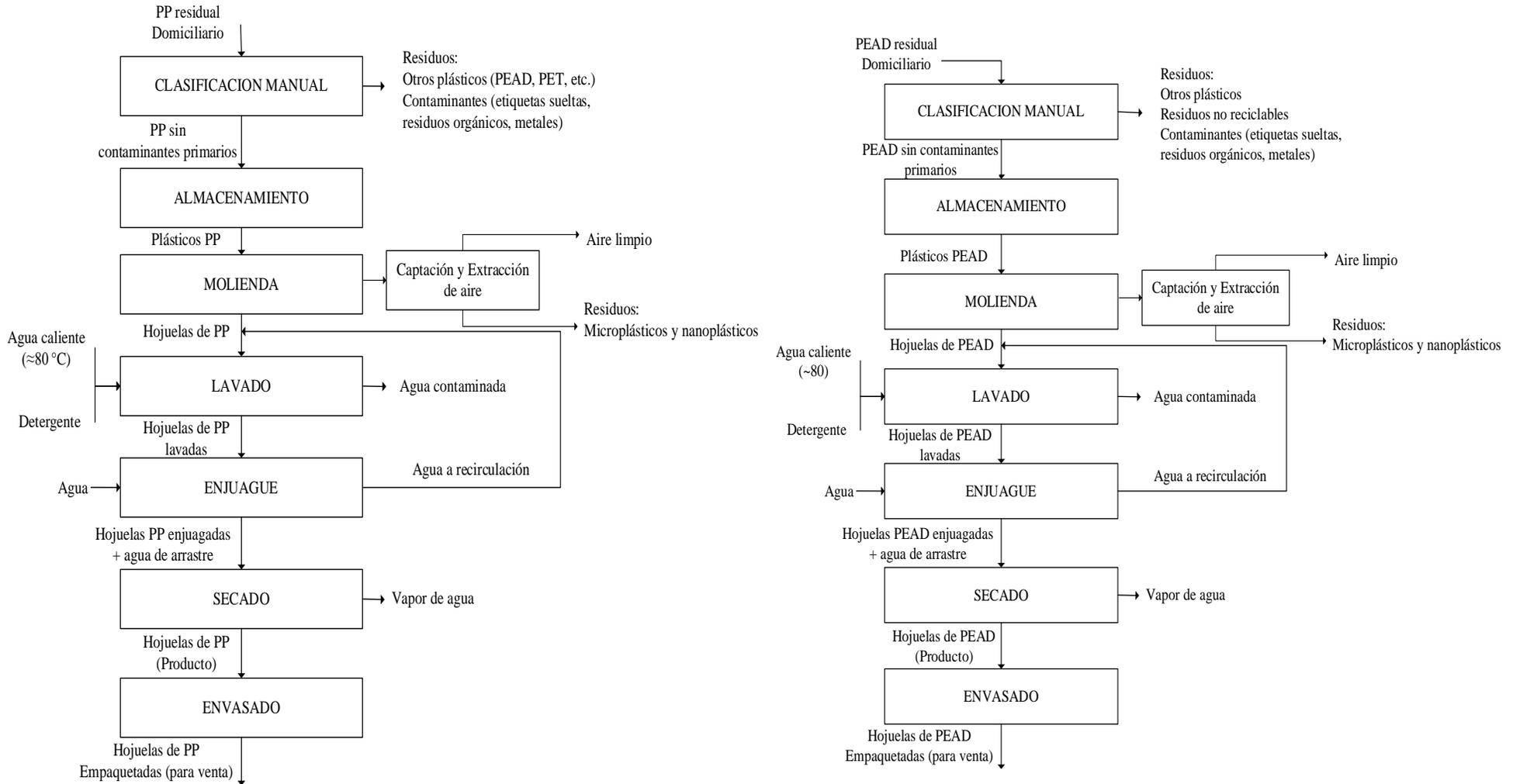
*Diagrama de Bloques para el proceso del PET*



### Diagrama de Bloques para los procesos de PP y PEAD

Figura 7

Diagrama de Bloques para los procesos de PP y PEAD



## Diagrama Cualitativo de la Planta de producción de hojuelas de residuos plásticos PET, PP y PEAD domiciliarios en la provincia del Cusco

El diagrama cualitativo de la planta representa de manera esquemática y ordenada las distintas etapas del proceso productivo involucrado en la transformación de los residuos plásticos domiciliarios en hojuelas recicladas de PET, PP y PEAD. Este tipo de diagrama tiene como finalidad mostrar la secuencia lógica de operaciones y la disposición general de los equipos en la planta, sin especificar aún los flujos cuantitativos de materia, energía ni recursos.

**Figura 8**

*Diagrama Cualitativo del Proceso de Producción de Hojuelas de PET reciclados*

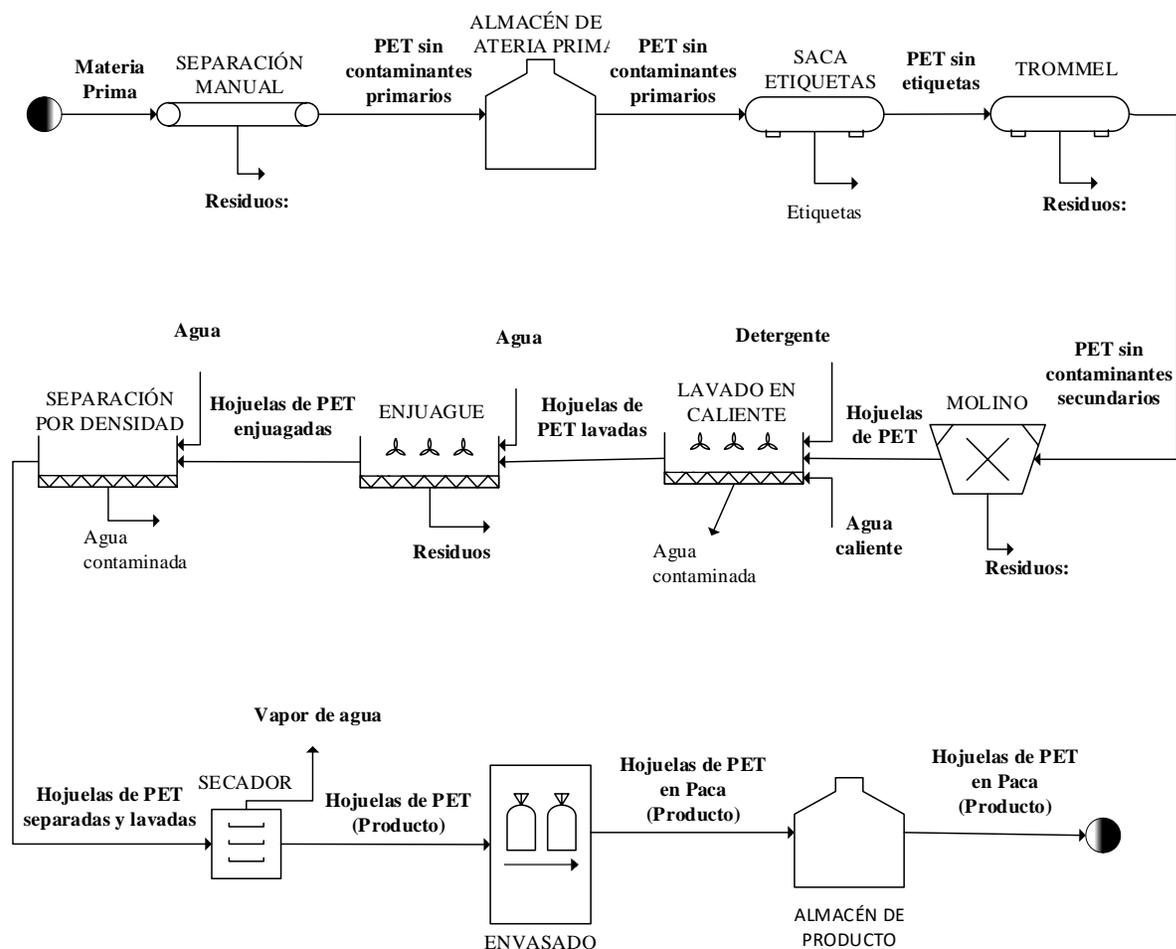


Figura 9

Diagrama Cualitativo del Proceso de Producción de Hojuelas de PEAD reciclados

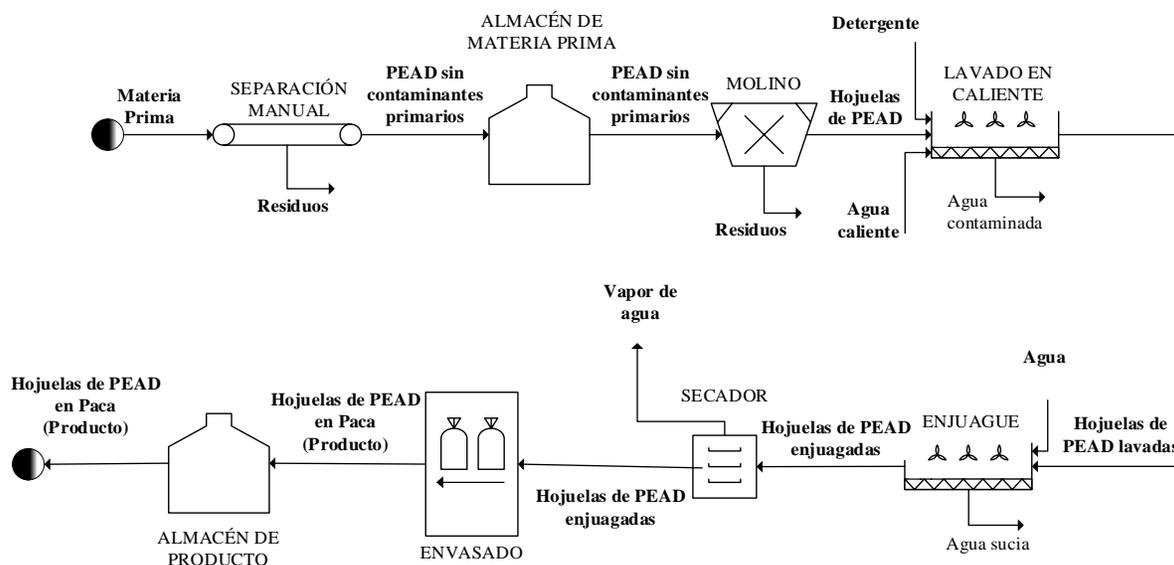
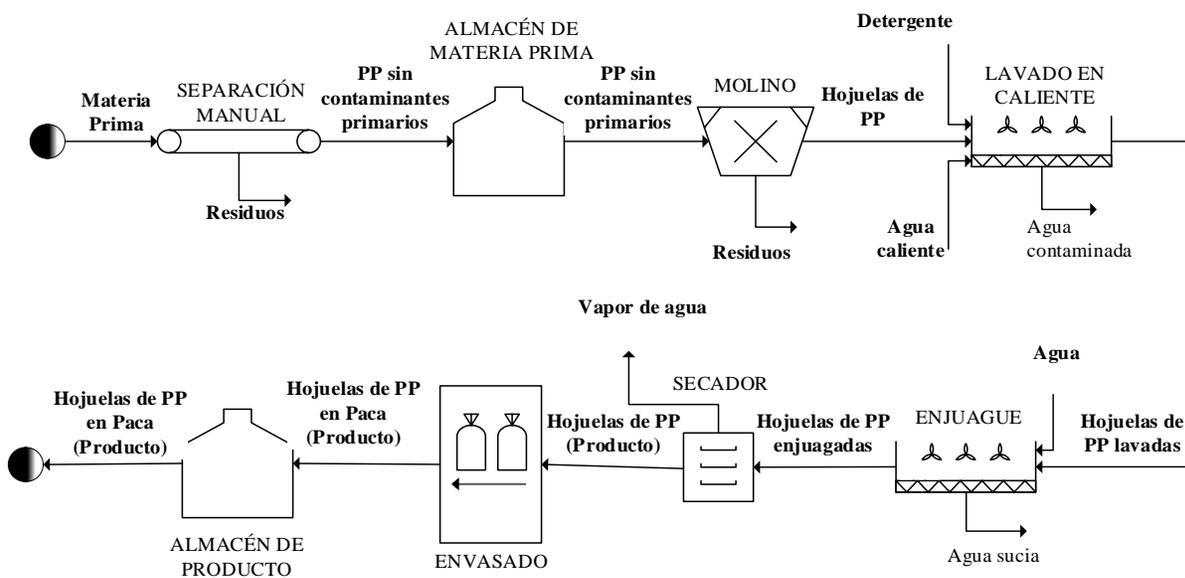


Figura 10

Diagrama Cualitativo del Proceso de Producción de Hojuelas de PP reciclados



#### **3.4.4. Balance de materia**

Se realizó el balance de materia con la finalidad de cuantificar las entradas y salidas de material en cada etapa de los procesos de reciclaje de PET, PP y PEAD. Esta herramienta nos permitió evaluar el rendimiento de cada una de las operaciones, identificar posibles pérdidas de material y estimar con mayor precisión la cantidad de hojuelas recicladas que podríamos obtener a partir de una determinada cantidad de residuos plásticos.

Para cada tipo de plástico, desarrollamos balances de materia específicos por etapa del proceso (clasificación, molienda, lavado, enjuague, secado, entre otros), considerando las características particulares de cada material, las tasas de pérdida en el lavado, la eficiencia del secado y la proporción de impurezas presentes.

Adicionalmente, elaboramos un balance de materia general o global para cada uno de los tres casos (PET, PP y PEAD), el cual nos permitió visualizar de manera integral las entradas y salidas del sistema completo. Este balance global fue clave para obtener una visión consolidada del proceso, facilitando la estimación del rendimiento total desde la recepción del material hasta la obtención de hojuelas limpias y secas.

Es preciso señalar que las composiciones de las líneas de entradas y salidas fueron tomadas de estos dos trabajos de investigación principales, que, al tener la data completa, fueron de utilidad para la estimación de los flujos para el balance de materia: Bejar Sanchez, (2019) y Huaytalla Bellido, (2019); como adición, este último trabajo toma datos de una planta real, por lo cual los datos son de mucha relevancia.

### ➤ Capacidad máxima de la planta

Es importante resaltar que se considera que la planta alcance su capacidad máxima en el quinto año de producción, teniendo en cuenta el estudio de la oferta de la materia prima en la provincia del Cusco, va en aumento, por lo que, a partir del quinto año, la capacidad de la planta permanece constante, ya que se consideró que la planta alcanza su capacidad máxima el año 2029.

#### 3.4.4.1. Flujo de entrada de la materia prima

El flujo de entrada para la planta de producción de hojuelas de residuos plásticos PET, PP y PEAD, se consideró el 50% de la cantidad total disponible de la materia prima (demanda insatisfecha de la materia prima) de la Tabla N° 21. Los datos de los flujos de entrada de la planta se muestran en la Tabla N° 49, por tipo de residuo plástico y por años.

**Tabla 49**

*Flujos de entrada de la planta*

<b>Año</b>	<b>PET (TM/año)</b>	<b>PEAD (TM/año)</b>	<b>PP (TM/año)</b>
<b>2025</b>	1356.3760	514.7433	379.7346
<b>2026</b>	1582.9416	525.8256	488.6008
<b>2027</b>	1843.9874	537.4466	624.1276
<b>2028</b>	2144.9422	549.6357	792.9427
<b>2029</b>	<b>2492.0844</b>	<b>562.4158</b>	<b>1003.3335</b>
<b>2030</b>	2492.0844	562.4158	1003.3335
<b>2031</b>	2492.0844	562.4158	1003.3335
<b>2032</b>	2492.0844	562.4158	1003.3335
<b>2033</b>	2492.0844	562.4158	1003.3335
<b>2034</b>	2492.0844	562.4158	1003.3335

➤ **Flujo de entrada de acuerdo al periodo de trabajo de la planta**

Consideramos 2 líneas de trabajo, por lo que no se operarán los 3 tipos de plástico a la par, según la cantidad de materia prima a procesar, el periodo de trabajo de cada año es el siguiente:

**1° Línea de Operación** – Sólo PET, durante los 12 meses del año, 26 días al mes y 8 horas al día.

**2° Línea de Operación** – PP y PEAD, de los 12 meses del año, 5 meses son para el PP y 7 meses son para el PEAD, esto en función a la cantidad de materia prima a procesar, ya que son menores a la cantidad de materia prima a procesar en la línea del PET mostrados en la Tabla N°42, trabajando 26 días al mes y 8 horas al día en ambas líneas (PP y PEAD).

Por lo que, tomando en cuenta el periodo de trabajo en el año para los 3 tipos de plástico, se muestra en la Tabla N° 50, el flujo de ingreso a la planta en Kg/h.

**Tabla 50**

*Flujos reales de entrada de la planta*

<b>Año</b>	<b>PET (kg/h)</b>	<b>PEAD (kg/h)</b>	<b>PP (kg/h)</b>
<b>2025</b>	543.4199	353.5325	365.1294
<b>2026</b>	634.1913	361.1439	469.8085
<b>2027</b>	738.7770	369.1254	600.1227
<b>2028</b>	859.3519	377.4971	762.4449
<b>2029</b>	<b>998.4313</b>	<b>386.2746</b>	<b>964.7438</b>
<b>2030</b>	998.4313	386.2746	964.7438
<b>2031</b>	998.4313	386.2746	964.7438
<b>2032</b>	998.4313	386.2746	964.7438
<b>2033</b>	998.4313	386.2746	964.7438
<b>2034</b>	998.4313	386.2746	964.7438

### **3.4.5. Balance de materia para el proceso de Reciclado del PET**

#### **3.4.5.1. Balance de materia en la Clasificación Manual – Proceso del PET**

La etapa de clasificación manual tiene como finalidad separar el PET de otros materiales presentes en la mezcla de residuos domiciliarios posconsumo, a través de la inspección y segregación visual realizada por operarios sobre una faja transportadora. Esta fase es esencial para garantizar la calidad del material PET que será procesado en etapas posteriores.

La Tabla N° 51 muestra que para el año 2029, se estima un flujo de entrada de 998.43 kg/h de materia prima (L1-01), correspondiente a la capacidad máxima proyectada de la planta. La materia prima está compuesta por residuos plásticos domiciliarios previamente recolectados en la provincia del Cusco.

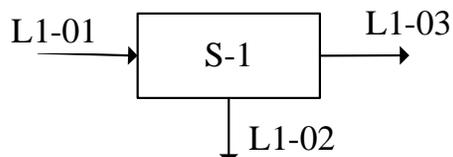
Tras el proceso de clasificación, se obtienen los siguientes productos:

- PET sin contaminantes primarios (L1-03): representa el 85% del flujo de entrada (Bejar Sanchez, 2019), con un volumen de 848.67 kg/h. Este material está libre de tapas, etiquetas o contaminantes visibles, y se destina al procesamiento posterior (molido y lavado).
- Otros plásticos (PP, PEAD, PS, PVC, entre otros) (L1-02): se identifican 59.91 kg/h (6%) de materiales no PET (Bejar Sanchez, 2019), los cuales son separados y almacenados para su posterior procesamiento o disposición.
- Tapas sueltas (principalmente PP y PEAD) (L1-02): constituyen un 4% del total (Bejar Sanchez, 2019), equivalente a 39.94 kg/h.
- Etiquetas sueltas (papel, BOPP) (L1-02): representan el 3% del flujo (Bejar Sanchez, 2019), es decir, 29.95 kg/h, y se consideran residuos no reciclables o se tratan por separado.

- Contaminantes no reciclables (L1-02): como residuos orgánicos, textiles o metales, representan 19.97 kg/h (2%) (Bejar Sanchez, 2019), y son enviados a disposición final o tratamiento especializado.

**Figura 11**

*Líneas de entrada y salida en la separación manual del PET*



*Entradas = Salidas*

Corrientes:

$$L1-01 = L1-02 + L1-03 \quad (12)$$

**Tabla 51**

*Balace de Materia en la etapa de separación manual del PET*

<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Materia Prima (L1-01)</b>	998.43	Flujo de entrada, de acuerdo a capacidad máxima de planta para año 2029
<b>Total</b>	<b>998.43</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>PET sin contaminantes primarios (L1-03)</b>	848.67	85.00
<b>Otros plásticos (PP, PEAD, PS, PVC) (L1-02)</b>	59.91	6.00
<b>Tapas sueltas (PP/PEAD) (L1-02)</b>	39.94	4.00

<b>Etiquetas sueltas (papel, BOPP) (L1-02)</b>	29.95	3.00
<b>Residuos no reciclables (orgánicos, metales, textiles) (L1-02)</b>	19.97	2.00
<b>Total</b>	<b>998.43</b>	

### 3.4.5.2. Balance de materia en el Saca Etiquetas – Proceso del PET

En esta etapa del proceso, se realiza la remoción de etiquetas adheridas al material PET. Este procedimiento es fundamental para asegurar una mayor pureza del producto y evitar la presencia de contaminantes durante el lavado y posterior tratamiento del plástico.

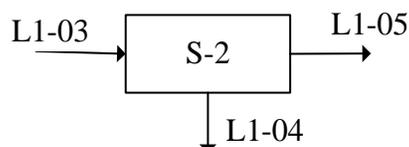
La Tabla N° 52 muestra que en la entrada a esta etapa está compuesta por 848.67 kg/h de PET sin contaminantes primarios (L1-03), flujo proveniente directamente de la etapa de clasificación manual. Todo este material contiene aún etiquetas adheridas que deben ser separadas.

Luego del proceso de separación, se obtiene:

- PET sin etiquetas adheridas (L1-05): se recuperan 818.71 kg/h, lo que representa aproximadamente el 96.47% del total del PET ingresado, y que equivale al 96.5% en términos de composición másica (Bejar Sanchez, 2019), ya que se considera que una parte del peso corresponde a las etiquetas removidas.
- Etiquetas (papel, BOPP u otros materiales) (L1-04): se separan 29.95 kg/h, correspondientes al 3.5% del flujo másico (Bejar Sanchez, 2019), y se clasifican como residuos no reciclables o susceptibles a tratamiento aparte.

### Figura 12

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Saca Etiquetas del PET*



*Entradas = Salidas*

Corrientes:

$$L1-03 = L1-04 + L1-05 \quad (13)$$

**Tabla 52**

*Balance de Materia en la etapa de la saca etiquetas del PET*

<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>PET sin contaminantes primarios (L1-03)</b>	848.67	100% de la línea de salida de la clasificación Manual
<b>Total</b>	<b>848.67</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>PET sin etiquetas (L1-05)</b>	818.71	96.50
<b>Etiquetas (L1-04)</b>	29.95	3.50
<b>Total</b>	<b>848.67</b>	

### 3.4.5.3. Balance de materia en el Trommel – Proceso del PET

La etapa del Trommel consiste en un tamizado mecánico mediante un tambor rotatorio que permite eliminar contaminantes físicos secundarios como partículas sueltas, fragmentos de tapas o etiquetas, tierra, polvo y otros elementos inorgánicos. Este proceso mejora significativamente la calidad del PET antes del molido y lavado.

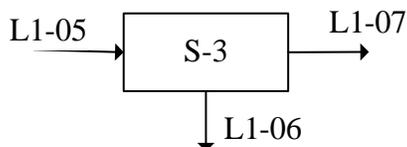
El flujo de entrada al Trommel está compuesto por 818.71 kg/h de PET sin etiquetas (L1-05), proveniente directamente de la etapa anterior, mostrado en la Tabla N° 53. Este material puede contener impurezas residuales adheridas o atrapadas entre las hojuelas de plástico.

A la salida del Trommel se obtiene la siguiente distribución:

- PET sin contaminantes secundarios (L1-07): se recuperan 778.76 kg/h, lo que representa el 95% del flujo de entrada (Bejar Sanchez, 2019). Este material está en condiciones óptimas para continuar con el proceso de reciclaje.
- Fragmentos de tapas o etiquetas liberadas (L1-06): equivalen a 14.98 kg/h (2%) (Bejar Sanchez, 2019), que fueron separados gracias al efecto del tamiz rotatorio.
- Tierra, polvo y piedras (L1-06): representan otros 14.98 kg/h (2%) (Bejar Sanchez, 2019), residuos típicos provenientes del almacenamiento y recolección domiciliaria de los residuos.
- Pérdidas mecánicas (L1-06): corresponden a 9.99 kg/h (1%) (Bejar Sanchez, 2019), e incluyen micro plásticos o partículas pequeñas atrapadas en el sistema, las cuales no pueden ser recuperadas eficientemente.

### Figura 13

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Trommel del PET*



*Entradas = Salidas*

Corrientes:

$$L1-05 = L1-06 + L1-07 \quad (14)$$

**Tabla 53***Balance de Materia en la etapa del Trommel del PET*

<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>PET sin etiquetas (L1-05)</b>	818.71	100% de la línea de salida de Saca Etiquetas
<b>Total</b>	<b>818.71</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>PET sin contaminantes secundarios (L1-07)</b>	778.76	95.00
<b>Fragmentos de tapas/etiquetas liberadas (L1-06)</b>	14.98	2.00
<b>Tierra, polvo, piedras (L1-06)</b>	14.98	2.00
<b>Pérdidas mecánicas (micro plásticos, desechos atrapados) (L1-06)</b>	9.99	1.00
<b>Total</b>	<b>818.71</b>	

#### **3.4.5.4. Balance de materia en el Molino – Proceso del PET**

En esta etapa, el PET libre de contaminantes secundarios es sometido a un proceso de reducción de tamaño a través de un molino de cuchillas. Este procedimiento permite transformar los envases plásticos en hojuelas, facilitando su posterior lavado, secado y clasificación por densidad.

En la Tabla N° 54 se muestra que el flujo de entrada está compuesto por 778.76 kg/h de PET limpio (L1-07), proveniente de la etapa del Trommel. Este material presenta características físicas adecuadas para ser procesado por el molino.

La salida de esta operación se compone de:

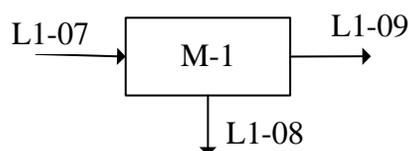
- Hojuelas de PET (L1-09): se obtienen 770.74 kg/h, lo que representa el 98.97% del flujo de entrada (Bejar Sanchez, 2019). Estas hojuelas presentan un tamaño

uniforme, ideal para facilitar el lavado posterior y la separación de contaminantes residuales.

- Polvo y pérdida por trituración (L1-08): equivalen a 8.02 kg/h (1.03%) , generados por la fricción y el impacto mecánico durante el proceso de corte (Bejar Sanchez, 2019).

**Figura 14**

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Molino del PET*



*Entradas = Salidas*

Corrientes:

$$L1-07 = L1-08 + L1-09 \quad (15)$$

**Tabla 54**

*Balance de Materia en la etapa del Molino del PET*

<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>PET sin contaminantes secundarios (L1-07)</b>	778.76	100% de la línea de salida de Trommel
<b>Total</b>	<b>778.76</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PET (L1-09)</b>	770.74	98.97
<b>Polvo y pérdida por trituración (L1-08)</b>	8.02	1.03
<b>Total</b>	<b>778.76</b>	

### 3.4.5.5. Balance de materia en el Lavado en caliente – Proceso del PET

El lavado en caliente es una etapa crítica dentro del proceso de reciclaje, ya que permite eliminar contaminantes adheridos a las hojuelas de PET, como grasas, residuos orgánicos, adhesivos y otros compuestos solubles. Esta etapa es fundamental porque garantiza la calidad y pureza del material reciclado, evitando defectos en el producto final y mejorando las propiedades mecánicas y estéticas del PET procesado. Para ello, se emplea agua caliente, detergente y soda cáustica en condiciones controladas.

En la Tabla N° 55 el flujo de entrada está compuesto por:

- Hojuelas de PET (L1-09): 770.74 kg/h, provenientes del molino, representan el insumo principal.
- Agua fresca (L1-10): 144.51 kg/h (150% respecto al flujo de hojuelas), que se añade diariamente para reponer el sistema (Bejar Sanchez, 2019).
- Agua de recirculación (L1-14): 1011.60 kg/h, recuperada del proceso de enjuague, para optimizar el uso de recursos hídricos y reducir el consumo (Bejar Sanchez, 2019).
- Detergente disuelto (L1-10): 23.12 kg/h (3% respecto al flujo de hojuelas), esencial para disolver grasas y residuos orgánicos (Bejar Sanchez, 2019).
- Soda caustica (L1-10): 15.41 kg/h (2%), utilizada para incrementar el pH y mejorar la eficiencia del lavado (Bejar Sanchez, 2019).

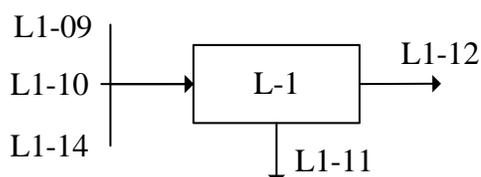
En la salida del proceso se obtiene:

- Hojuelas de PET lavadas (L1-12): 894.25 kg/h, que incluyen un 5.26% de agua de arrastre aún adherida a las hojuelas. Estas están listas para el enjuague final (Bejar Sanchez, 2019).

- Agua contaminada (L1-11): 1071.13 kg/h, compuesta por el agua de lavado saturada con residuos desprendidos. Esta será tratada por filtración y decantación antes de ser desechada.

### Figura 15

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Lavado en caliente del PET*



*Entradas = Salidas*

Corrientes:

$$L1-09 + L1-10 + L1-14 = L1-11 + L1-12 \quad (16)$$

### Tabla 55

*Balance de Materia en la etapa del Lavado en caliente del PET*

<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PET (L1-09)</b>	770.74	100% de la línea de salida del Molino
<b>Agua de ingreso (1 al día) (L1-10)</b>	144.51	150% de la línea de salida del Molino
<b>Agua de recirculación (L1-14)</b>	1011.60	44.33% de la línea de salida total del Enjuague
<b>Detergente disuelto (L1-10)</b>	23.12	3% de la línea de salida del Molino
<b>Soda Caustica (L1-10)</b>	15.41	2% de la línea de salida del Molino
<b>Total</b>	<b>1965.38</b>	

<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PET lavadas (L1-12)</b>	894.25	45.5, 5.26% agua de arrastre
<b>Agua contaminada (L1-11)</b>	1071.13	54.45
<b>Total</b>	<b>1965.38</b>	

### **3.4.5.6. Balance de materia en el Enjuague – Proceso del PET**

El enjuague es una etapa clave posterior al lavado en caliente, cuyo objetivo principal es eliminar residuos de detergentes, soda cáustica y contaminantes remanentes en las hojuelas de PET. Esta operación utiliza grandes volúmenes de agua para garantizar una limpieza adecuada antes de pasar a la siguiente fase.

En la Tabla N° 56 se muestra que en la entrada del proceso:

- Hojuelas de PET lavadas (L1-12): 894.25 kg/h, que provienen directamente de la etapa de lavado en caliente. Estas hojuelas aún contienen trazas de químicos y agua contaminada.
- Agua (L1-13): 1341.38 kg/h, lo que representa un 150% del flujo másico de hojuelas (Bejar Sanchez, 2019). Esta agua es introducida a temperatura ambiente y puede ser parcialmente recirculada desde etapas previas.

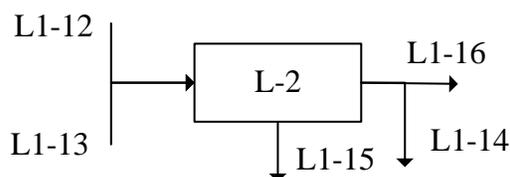
Salidas del proceso:

- Hojuelas enjuagadas con agua de arrastre (L1-16): 901.63 kg/h, lo que incluye tanto el PET ya limpio como una pequeña fracción de agua que queda adherida a su superficie (Bejar Sanchez, 2019).

- Agua residual contaminada (L1-15): 322.40 kg/h, corresponde al agua que ha removido residuos químicos y sólidos finos, la cual deberá pasar por un sistema de tratamiento o descartarse adecuadamente (Bejar Sanchez, 2019).
- Agua a recircular (L1-14): 1011.60 kg/h, que al estar en proporción menos contaminada que el agua de salida del lavado, es viable para ser reutilizada, principalmente en la etapa de lavado en caliente, contribuyendo a una operación más sostenible (Bejar Sanchez, 2019).

### Figura 16

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Enjuague del PET*



*Entradas = Salidas*

Corrientes:

$$L1-12 + L1-13 = L1-14 + L1-15 + L1-16 \quad (17)$$

### Tabla 56

*Balance de Materia en la etapa del Enjuague del PET*

<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PET lavadas (L1-12)</b>	894.25	100% de la línea de salida del Lavado
<b>Agua (L1-13)</b>	1341.38	150% de la línea de salida del Lavado
<b>Total</b>	<b>2235.63</b>	

<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas enjuagadas + agua de arrastre (L1-16)</b>	901.63	40.33
<b>Agua residual (contaminada) (L1-15)</b>	322.40	14.42
<b>Agua a recircular (L1-14)</b>	1011.60	45.25
<b>Total</b>	<b>2235.63</b>	

### 3.4.5.7. Balance de materia en la Separación por Densidad – Proceso del PET

La separación por densidad es una operación fundamental dentro del proceso de reciclaje del PET, cuyo propósito es segregar los materiales pesados (PET) de los materiales ligeros (como tapas de PP o PEAD) mediante el principio de flotación en agua.

Entrada del proceso mostrado en la Tabla N° 57 indica lo siguiente:

- Hojuelas de PET enjuagadas (L1-16): 901.63 kg/h, provienen directamente del enjuague y constituyen el material plástico objetivo para la recuperación.
- Agua (L1-17): 367.68 kg/h, añadida como medio de flotación. Esta cantidad corresponde al 40% del flujo del enjuague (Bejar Sanchez, 2019), garantizando una relación adecuada entre sólido y líquido para facilitar la separación.

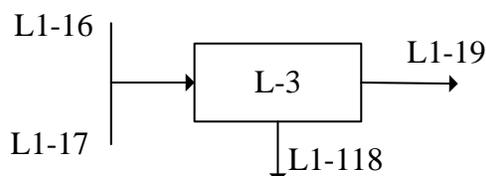
Salidas del proceso:

- Hojuelas separadas (hundidas) + agua arrastrada (L1-19): 856.64 kg/h. Este flujo representa las hojuelas de PET que, debido a su densidad superior al agua, se hunden y se recogen para su posterior secado. Incluye una fracción de agua que permanece adherida al material (Bejar Sanchez, 2019).

- Agua residual (L1-18): 385.63 kg/h. Esta corriente contiene impurezas flotantes y trazas de PET finamente disgregado, y puede ser tratada o parcialmente recirculada según el sistema de gestión hídrica de la planta (Bejar Sanchez, 2019).
- Material flotante (tapas, restos de PP u otros plásticos de menor densidad) (L1-18): 27.05 kg/h. Estos materiales son separados para su procesamiento independiente o disposición final, asegurando la pureza del PET recuperado (Bejar Sanchez, 2019).

**Figura 17**

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Separador por Densidad del PET*



*Entradas = Salidas*

Corrientes:

$$L1-16 + L1-17 = L1-18 + L1-19 \quad (18)$$

**Tabla 57**

*Balance de Materia en la etapa del Separador por densidad del PET*

<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PET enjuagadas (L1-16)</b>	901.63	100% de la línea de salida del Enjuague
<b>Agua (L1-17)</b>	367.68	40% de la línea de salida del Enjuague
<b>Total</b>	<b>1269.31</b>	

<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas separadas (hundidas) + agua arrastrada (L1-19)</b>	856.64	67.49
<b>Agua residual (L1-18)</b>	385.63	30.38
<b>Material flotante (tapas, PP) (L1-18)</b>	27.05	2.13
<b>Total</b>	<b>1269.31</b>	

#### **3.4.5.8. Balance de materia en el Secado – Proceso del PET**

La etapa de secado tiene como objetivo principal eliminar la humedad remanente en las hojuelas de PET tras la separación por densidad, asegurando que el producto final cumpla con las especificaciones requeridas para su almacenamiento y comercialización.

En la Tabla N° 58 se muestra que como ingreso al proceso se presenta hojuelas de PET separadas y lavadas (L1-19): 856.64 kg/h, provenientes directamente de la etapa de separación por densidad, contienen una cantidad significativa de humedad adherida debido al proceso previo de lavado y manejo.

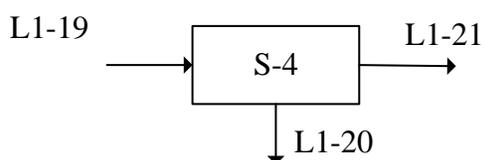
Salida del proceso:

- Hojuelas de PET (Producto final) (L1-21): 764.12 kg/h, representan el material seco listo para su uso o venta, con un contenido de humedad residual mínimo. Esta corriente constituye el producto principal de la planta de reciclaje (Bejar Sanchez, 2019).

- Vapor de agua (evaporado) (L1-20): 92.52 kg/h, corresponde al agua eliminada durante el secado, que se convierte en vapor y es retirada del sistema (Bejar Sanchez, 2019).

### Figura 18

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Secador del PET*



*Entradas = Salidas*

Corrientes:

$$L1-19 = L1-20 + L1-21 \quad (19)$$

### Tabla 58

*Balance de Materia en la etapa del Secador del PET*

<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PET separadas y lavadas (L1-19)</b>	856.64	100% de la línea de salida de la Separación por Densidad
<b>Total</b>	<b>856.64</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PET (Producto) (L1-21)</b>	764.12	89.20
<b>Vapor de agua (evaporado) (L1-20)</b>	92.52	10.80
<b>Total</b>	<b>856.64</b>	

### 3.4.5.9. Rendimiento para el proceso del PET

En la Tabla N° 59, se presenta un cuadro del rendimiento del proceso para la línea PET, incluyendo las cantidades de entrada, salida útil y merma, expresado en kilogramos.

Teniendo en cuenta que el proceso se divide en 3 etapas principales:

Pretratamiento: Separación Manual, Trommel y Saca etiquetas

Molienda: Molino

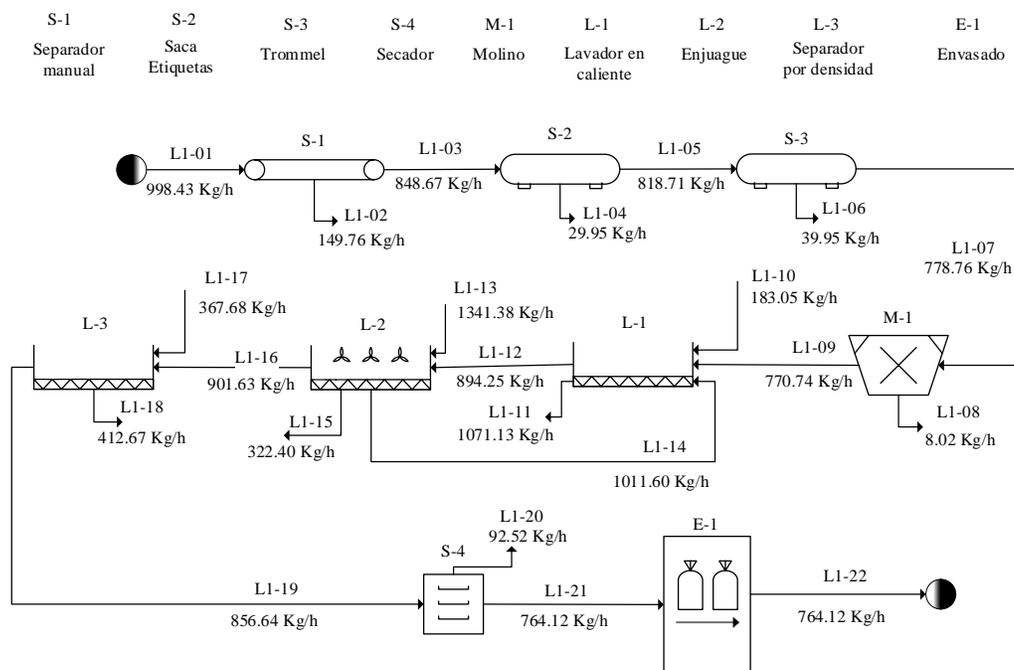
Lavado y secado: Lavado, Enjuague, Separación por Densidad y Secado

**Tabla 59**

*Rendimientos en el proceso del PET*

<b>Etapas del Proceso</b>	<b>Entrada (kg)</b>	<b>Salida útil (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
<b>Pretratamiento</b>	<b>998.43</b>	778.76	219.67	78.00%
<b>Molienda</b>	778.76	770.74	8.02	98.97%
<b>Lavado y Secado</b>	770.74	<b>764.12</b>	6.62	99.14%
<b>Proceso General para PET</b>	<b>998.43</b>	<b>764.12</b>	<b>234.31</b>	<b>76.53%</b>

El proceso de reciclaje de PET presenta un rendimiento global de 76.53%, lo que significa que de cada 100 kg de PET posconsumo se obtienen aproximadamente 76.53 kg de hojuelas limpias y secas.

**Figura 19***Diagrama de Flujo de la Producción de hojuelas de PET*

### 3.4.6. Balance de materia para el proceso de Reciclado del PP y PEAD

#### 3.4.6.1. Balances de materia en la Clasificación de la Materia Prima –

#### Procesos del PP y PEAD

**Clasificación Manual — Proceso de PP.** En esta etapa, como se muestra en la Tabla N° 60 se recibe una materia prima con un flujo de entrada de 964.74 kg/h (L1-23), correspondiente a residuos plásticos mixtos provenientes de la recolección domiciliaria para el año 2029, según la capacidad máxima proyectada de la planta.

Salida del proceso:

- PP sin contaminantes primarios (L1-25): Se logra separar y recuperar aproximadamente 771.80 kg/h, lo que representa un 80% del total (Huaytalla

Bellido, 2019), indicando una adecuada eficiencia en la identificación y segregación manual del polipropileno.

- Otros plásticos (PEAD, PET, entre otros) (L1-24): Se recuperan aproximadamente 144.71 kg/h (15%) (Huaytalla Bellido, 2019), que corresponden a materiales no PP que se clasifican erróneamente o se mezclan en la materia prima.
- Contaminantes (etiquetas sueltas, residuos orgánicos, metales) (L1-24): Se retiran alrededor de 48.24 kg/h (5%) de desechos no reciclables o impurezas, asegurando la calidad del material procesado (Huaytalla Bellido, 2019).

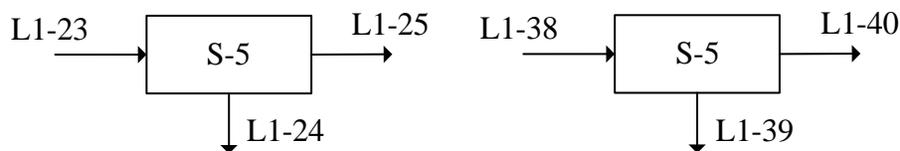
**Clasificación Manual — Proceso de PEAD.** Para el proceso de PEAD, la materia prima de entrada asciende a 386.27 kg/h (L1-38), mostrado en Tabla N° 60, conformada también por residuos plásticos domiciliarios mixtos.

Salida del proceso:

- PEAD sin contaminantes primarios (L1-40): Se obtiene un flujo de 328.33 kg/h, que equivale al 85% de la materia prima, demostrando una alta efectividad en la separación manual del polietileno de alta densidad (Huaytalla Bellido, 2019).
- Otros plásticos (L1-39): Se identifican y segregan aproximadamente 27.04 kg/h (7%), correspondientes a plásticos distintos al PEAD (Huaytalla Bellido, 2019).
- Residuos no reciclables (L1-39): Se descartan alrededor de 19.31 kg/h (5%) de materiales no procesables en la planta (Huaytalla Bellido, 2019).
- Contaminantes (etiquetas sueltas, residuos orgánicos, metales) (L1-39): Se retiran unos 11.59 kg/h (3%) de elementos contaminantes para asegurar la pureza del PEAD recuperado (Huaytalla Bellido, 2019).

**Figura 20**

*Líneas de entrada y salida en la etapa de la clasificación manual del PP y PEAD*



*Entradas = Salidas*

Corrientes para PP:

$$L1-23 = L1-24 + L1-25 \quad (20)$$

Corrientes para PEAD:

$$L1-38 = L1-39 + L1-40 \quad (21)$$

**Tabla 60**

*Balace de Materia en la etapa de la separación manual del PP y PEAD*

<b>PROCESO DE PP</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Materia Prima (L1-23)</b>	964.74	Flujo de entrada, de acuerdo a capacidad máxima de planta para año 2029
<b>Total</b>	<b>964.74</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>PP sin contaminantes primarios (L1-25)</b>	771.80	80.00
<b>Otros plásticos (PEAD, PET) (L1-24)</b>	144.71	15.00
<b>Contaminantes (etiquetas sueltas, residuos orgánicos, metales) (L1-24)</b>	48.24	5.00
<b>Total</b>	<b>964.74</b>	

<b>PROCESO DE PEAD</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Materia Prima (L1-38)</b>	386.27	Flujo de entrada, de acuerdo a capacidad máxima de planta para año 2029
<b>Total</b>	386.27	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>PEAD sin contaminantes primarios (L1-40)</b>	328.33	85.00
<b>Otros plásticos (L1-39)</b>	27.04	7.00
<b>Residuos no reciclables (L1-39)</b>	19.31	5.00
<b>Contaminantes (etiquetas sueltas, residuos orgánicos, metales) (L1-39)</b>	11.59	3.00
<b>Total</b>	<b>386.27</b>	

#### **3.4.6.2. Balances de materia en el Molino – Procesos del PP y PEAD**

**Molino — Proceso de PP.** En esta etapa, mostrado en Tabla N° 61, se procesa el polipropileno previamente clasificado, con un flujo de entrada total de 771.80 kg/h (L1-25), que corresponde al 100% de la salida del proceso de clasificación manual.

Salida del proceso:

- Hojuelas de PP (L1-27): Se obtienen aproximadamente 756.36 kg/h, representando el 98% del flujo de entrada. Estas hojuelas constituyen el producto triturado listo para las siguientes fases del reciclaje.
- Polvo y pérdida por trituración (L1-26): Se generan pérdidas por trituración equivalentes a 15.44 kg/h (2%), debido a la formación de polvo y pequeñas partículas no recuperables (Huaytalla Bellido, 2019).

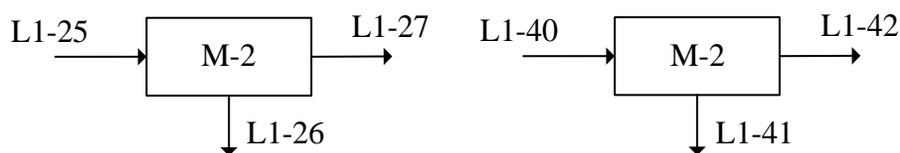
**Molino — Proceso de PEAD.** El flujo de entrada para la molienda de PEAD es de 328.33 kg/h (L1-40), proveniente de la clasificación manual de material limpio, como se muestra en la Tabla N° 61.

Salida del proceso:

- Hojuelas de PEAD (L1-42): Se producen alrededor de 320.62 kg/h, que representan el 97.7% del material procesado (Huaytalla Bellido, 2019), constituyendo la forma triturada del PEAD lista para su uso posterior.
- Polvo y pérdida por trituración (L1-41): Se registran pérdidas de 7.72 kg/h (2.3%) (Huaytalla Bellido, 2019), generadas por polvo y fragmentos pequeños que no pueden ser recuperados.

### Figura 21

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Molino del PP y PEAD*



*Entradas = Salidas*

Corrientes para PP:

$$L1-25 = L1-26 + L1-27 \quad (22)$$

Corrientes para PEAD:

$$L1-40 = L1-41 + L1-42 \quad (23)$$

Tabla 61

*Balance de Materia en la etapa del molino del PP y PEAD*

<b>PROCESO DE PP</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
PP sin contaminantes (L1-25)	771.80	100% de la línea de salida de la clasificación Manual
<b>Total</b>	<b>771.80</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
Hojuelas de PP (L1-27)	756.36	98.00
Polvo y pérdida por trituración (L1-26)	15.44	2.00
<b>Total</b>	<b>771.80</b>	
<b>PROCESO DE PEAD</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
PEAD sin contaminantes (L1-40)	328.33	100% de la línea de salida de la clasificación Manual
<b>Total</b>	<b>328.33</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
Hojuelas de PEAD (L1-42)	320.62	97.70
Polvo y pérdida por trituración (L1-41)	7.72	2.30
<b>Total</b>	<b>328.33</b>	

### 3.4.6.3. Balances de materia en el Lavado en caliente – Procesos del PP y PEAD

**Lavado en Caliente — Proceso de PP.** En esta etapa, las hojuelas de PP provenientes del molino, con un flujo de 756.36 kg/h (L1-27), mostradas en la Tabla N° 62, son sometidas a un proceso de lavado con agua caliente y detergente para eliminar contaminantes y residuos adheridos.

La línea de entradas está conformada por:

- Respecto a la cantidad que sale del molino, un 100%, Hojuelas de PP (L1-27): 756.36 kg/h, 150%, agua caliente (~80 °C) (L1-29): 214.53 kg/h, 2.5%, detergente (L1-28): 18.91 kg/h (Huaytalla Bellido, 2019).
- Agua recirculada (L1-33): 920.01 kg/h (65% de la salida total del enjuague) (Huaytalla Bellido, 2019).

Salidas:

- Hojuelas lavadas (incluyendo agua de arrastre) (L1-31): 647.04 kg/h, representando el 33.9% del total de entrada. Estas hojuelas están limpias y listas para la siguiente etapa.
- Agua residual contaminada (contiene detergente, suciedad y partículas) (L1-30): 1262.76 kg/h, es decir el 66.1% del total de entrada, que debe ser tratada o recirculada (Huaytalla Bellido, 2019).

**Lavado en Caliente — Proceso de PEAD.** Como se muestra en la Tabla N° 56, las hojuelas procesadas en el molino (320.62 kg/h) pasan por un proceso similar de lavado con agua caliente y detergente.

La línea de entradas está distribuida de la siguiente forma:

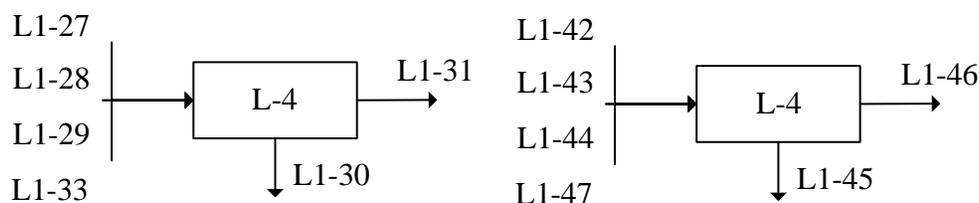
- Respecto a la cantidad que sale del molino, un 100%, hojuelas de PEAD (L1-42): 320.62 kg/h, 150%, agua caliente (~80 °C) (L1-44): 128.82 kg/h, 1.5%, detergente (L1-43): 4.81 kg/h (Huaytalla Bellido, 2019).
- Agua recirculada (L1-47): 352.11 kg/h (55.45% del total del enjuague) (Huaytalla Bellido, 2019).

Salidas:

- Hojuelas lavadas con aproximadamente 2% de humedad (L1-46): 290.29 kg/h, que representan el 39% del total de entrada y constituyen el material limpio para la siguiente etapa (Huaytalla Bellido, 2019).
- Agua residual contaminada, que contiene detergente y partículas (L1-45): 516.07 kg/h, equivalentes al 61% de la entrada total (Huaytalla Bellido, 2019).

### Figura 22

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Lavado en caliente del PP y PEAD*



*Entradas = Salidas*

Corrientes para PP:

$$L1-27 + L1-28 + L1-29 + L1-33 = L1-30 + L1-31 \quad (24)$$

Corrientes para PEAD:

$$L1-42 + L1-43 + L1-44 + L1-47 = L1-45 + L1-46 \quad (25)$$

Tabla 62

*Balance de Materia en la etapa del lavado en caliente del PP y PEAD*

<b>PROCESO DE PP</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PP (L1-27)</b>	756.36	100% de la línea de salida del Molino
<b>Agua caliente (≈80 °C) (L1-29)</b>	214.53	150% de la línea de salida del Molino
<b>Agua recirculada (L1-33)</b>	920.01	65% de la línea de salida total del Enjuague
<b>Detergente (L1-28)</b>	18.91	2.5% de la línea de salida del Molino
<b>Total</b>	<b>1909.81</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas lavadas (con agua de arrastre) (L1-31)</b>	647.04	33.90
<b>Agua residual contaminada (L1-30)</b>	1262.76	66.10
<b>Total</b>	<b>1909.81</b>	
<b>PROCESO DE PEAD</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PEAD (L1-42)</b>	320.62	100% de la línea de salida del Molino
<b>Agua caliente (≈80 °C) (L1-44)</b>	128.82	150% de la línea de salida del Molino
<b>Agua recirculada (L1-47)</b>	352.11	55.45% de la línea de salida total del Enjuague
<b>Detergente (L1-43)</b>	4.81	1.5% de la línea de salida del Molino
<b>Total</b>	<b>806.35</b>	

<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas lavadas (con 2% humedad) (L1-46)</b>	290.29	39.00
<b>Agua residual contaminada (con detergente y partículas) (L1-45)</b>	516.07	61.00
<b>Total</b>	<b>806.35</b>	

#### **3.4.6.4. Balances de materia en el Enjuague – Procesos del PP y PEAD**

**Enjuague — Proceso de PP.** El enjuague tiene como finalidad eliminar los residuos de detergente y otras impurezas solubles presentes en las hojuelas de polipropileno (PP) luego del lavado en caliente, mostrado en la Tabla N° 63.

Entradas:

- Hojuelas de PP lavadas (L1-31): 647.04 kg/h (100% de la salida del lavado en caliente)
- Agua de enjuague limpia (L1-32): 970.56 kg/h (equivale al 150% del flujo del lavado) (Huaytalla Bellido, 2019).

Salidas:

- Hojuelas enjuagadas (con 2% de humedad) (L1-34): 566.16 kg/h (35% del total)
- Agua a recircular (L1-33): 1051.44 kg/h (65% del total) (Huaytalla Bellido, 2019).

**Enjuague — Proceso de PEAD.** El proceso es similar al de PP, con el objetivo de enjuagar adecuadamente las hojuelas de polietileno de alta densidad (PEAD) tras el lavado con detergente, los flujos se detallan en la Tabla N° 63.

Entradas:

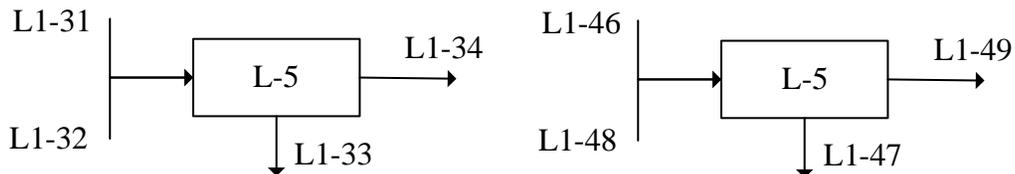
- Hojuelas de PEAD lavadas (L1-46): 290.29 kg/h (100% de la salida del lavado).
- Agua de enjuague (L1-48): 435.43 kg/h (150% del flujo de lavado) (Huaytalla Bellido, 2019).

Salidas:

- Hojuelas enjuagadas con 2% de humedad (L1-49): 323.31 kg/h (44.55% del total) (Huaytalla Bellido, 2019).
- Agua a recircular (L1-47): 402.41 kg/h (55.45% del total) (Huaytalla Bellido, 2019).

### Figura 23

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Enjuague del PP y PEAD*



*Entradas = Salidas*

Corrientes para PP:

$$L1-31 + L1-32 = L1-33 + L1-34 \quad (26)$$

Corrientes para PEAD:

$$L1-46 + L1-48 = L1-47 + L1-49 \quad (27)$$

Tabla 63

*Balance de Materia en la etapa del enjuague del PP y PEAD*

<b>PROCESO DE PP</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
Hojuelas de PP lavadas (L1-31)	647.04	100% de la línea de salida del Lavado
Agua de enjuague limpia (L1-32)	970.56	150% de la línea de salida del Lavado
<b>Total</b>	<b>1617.61</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
Hojuelas enjuagadas (con 2% humedad) (L1-34)	566.16	35.00
Agua a recircular (L1-33)	1051.44	65.00
<b>Total</b>	<b>1617.61</b>	
<b>PROCESO DE PEAD</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
Hojuelas de PEAD lavadas (L1-46)	290.29	100% de la línea de salida del Lavado
Agua de enjuague (L1-48)	435.43	150% de la línea de salida del Lavado
<b>Total</b>	<b>725.72</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
Hojuelas enjuagadas (2% humedad) (L1-49)	323.31	44.55
Agua a recircular (L1-47)	402.41	55.45
<b>Total</b>	<b>725.72</b>	

### 3.4.6.5. Balances de materia en el Secado – Procesos del PP y PEAD

**Secado — Proceso de PP.** En esta etapa, el objetivo es eliminar la humedad residual presente en las hojuelas de polipropileno (PP) luego del enjuague, asegurando un producto seco y listo para su comercialización o almacenamiento.

En la Tabla N° 64, se muestra el ingreso de las hojuelas de PP enjuagadas: 566.16 kg/h (100% del flujo proveniente del enjuague) (L1-34).

Salidas:

- Hojuelas de PP (producto final) (L1-36): 556.54 kg/h (98.30%).
- Vapor de agua (evaporado) (L1-35): 9.62 kg/h (1.70%) (Huaytalla Bellido, 2019).

**Secado — Proceso de PEAD.** La finalidad de esta etapa es similar: reducir el contenido de humedad en las hojuelas de polietileno de alta densidad (PEAD) para cumplir con los estándares de calidad del producto final.

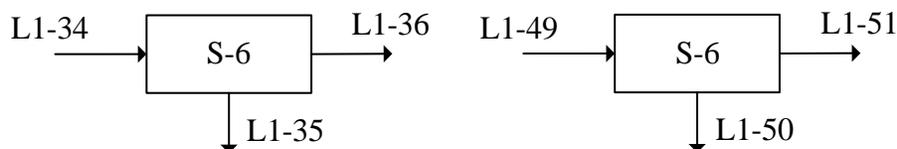
Ingresan hojuelas de PEAD enjuagadas: 323.31 kg/h (100% del flujo proveniente del enjuague) (L1-49), mostradas en Tabla N° 64.

Salidas:

- Hojuelas de PEAD (producto final) (L1-51): 318.46 kg/h (98.50%).
- Vapor de agua (L1-50): 4.85 kg/h (1.50%) (Huaytalla Bellido, 2019).

#### Figura 24

*Líneas de entrada y salida en la etapa del Secado del PP y PEAD*



*Entradas = Salidas*

Corrientes para PP:

$$L1-34 = L1-35 + L1-36 \quad (28)$$

Corrientes para PEAD:

$$L1-49 = L1-50 + L1-51 \quad (29)$$

**Tabla 64**

*Balance de Materia en la etapa del secado del PP y PEAD*

<b>PROCESO DE PP</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PP enjuagadas (L1-34)</b>	566.16	100% de la línea de salida del Enjuague
<b>Total</b>	<b>566.16</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PP (Producto) (L1-36)</b>	556.54	98.30
<b>Vapor de agua (L1-35)</b>	9.62	1.70
<b>Total</b>	<b>566.16</b>	
<b>PROCESO DE PEAD</b>		
<b>ENTRADA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PEAD enjuagadas (L1-49)</b>	323.31	100% de la línea de salida del Enjuague
<b>Total</b>	<b>323.31</b>	
<b>SALIDA</b>		
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Composición (%p/p)</b>
<b>Hojuelas de PEAD (Producto) (L1-51)</b>	318.46	98.50
<b>Vapor de agua (L1-50)</b>	4.85	1.50
<b>Total</b>	<b>323.31</b>	

### 3.4.6.6. Rendimientos para los procesos de PP y PEAD

En la Tabla N° 65, se presenta los rendimientos de ambas líneas en mención, incluyendo las cantidades de entrada, salida útil y merma, expresado en kilogramos.

Teniendo en cuenta que el proceso se divide en 3 etapas principales:

Pretratamiento: Separación Manual

Molienda: Molino

Lavado y secado: Lavado, Enjuague, y Secado

**Tabla 65**

*Rendimientos en el proceso de la línea de PP*

<b>Etapas del Proceso</b>	<b>Entrada (kg)</b>	<b>Salida útil (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
<b>Pretratamiento</b>	<b>964.74</b>	771.80	147.68	80.00
<b>Molienda</b>	590.71	578.90	11.81	98.00
<b>Lavado y Secado</b>	578.90	<b>425.96</b>	152.94	73.58
<b>Proceso General para PP</b>	<b>738.39</b>	<b>425.96</b>	312.43	<b>57.69</b>

**Tabla 66**

*Rendimientos en el proceso de la línea de PEAD*

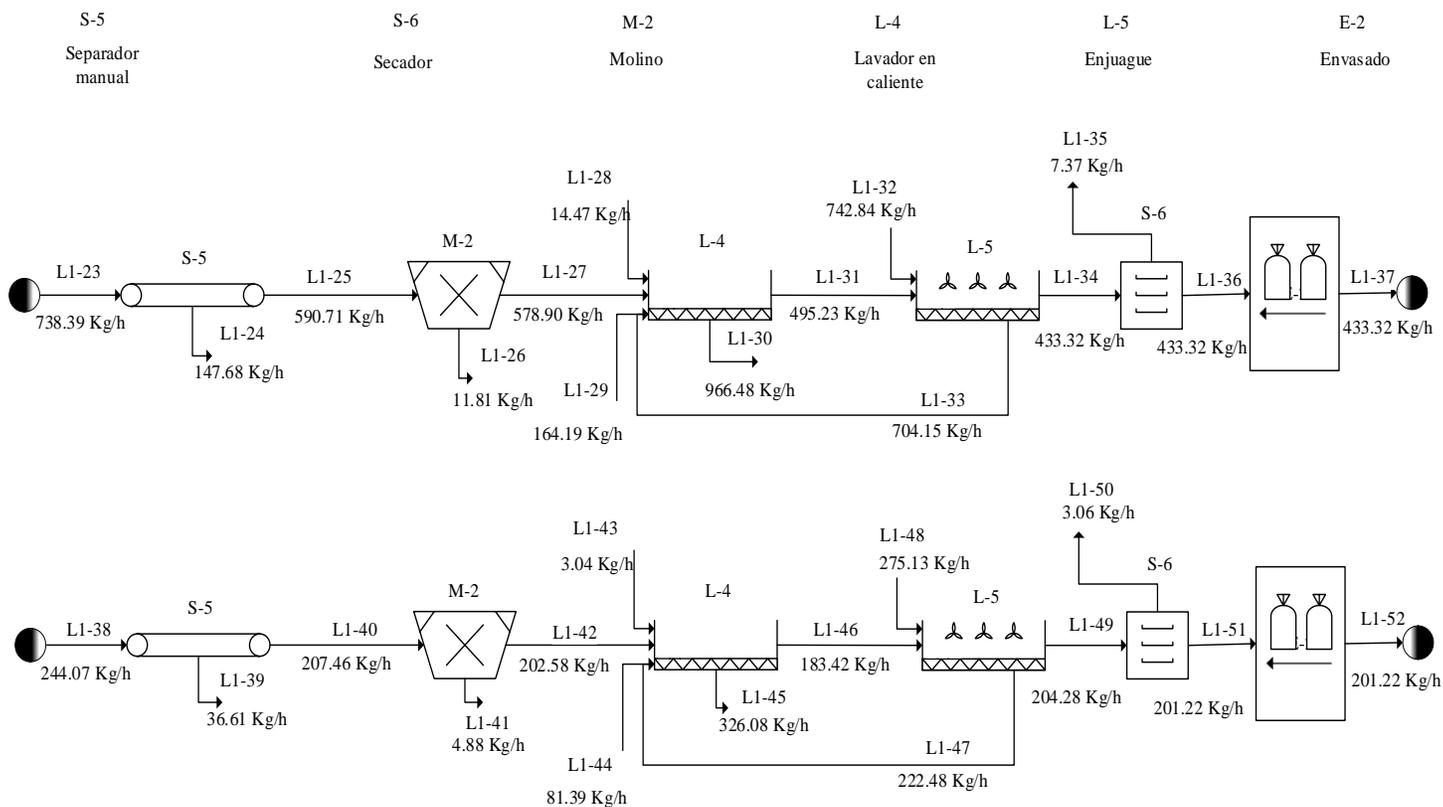
<b>Etapas del Proceso</b>	<b>Entrada (kg)</b>	<b>Salida útil (kg)</b>	<b>Merma (kg)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
<b>Pretratamiento</b>	<b>244.07</b>	207.46	36.61	85.00
<b>Molienda</b>	207.46	202.58	4.88	97.65
<b>Lavado y Secado</b>	202.58	<b>201.22</b>	1.36	99.33
<b>Proceso General para PEAD</b>	<b>244.07</b>	<b>201.22</b>	42.85	<b>82.44</b>

El proceso de reciclaje de polipropileno (PP) presenta un rendimiento global de 57.69 %, lo que implica que de cada 100 kg de material posconsumo, se obtienen aproximadamente 57.69 kg

de hojuelas limpias y secas. En contraste, el reciclaje de polietileno de alta densidad (PEAD) resulta más eficiente, con un rendimiento global de 82.44 %, equivalente a 82.44 kg de hojuelas por cada 100 kg de material tratado.

**Figura 25**

*Diagrama de Flujo de la Producción de hojuelas de PP y PEAD*



### 3.4.7. Balance General de Materia

El balance general o global de materia es una herramienta fundamental que permite cuantificar y evaluar las entradas, salidas y pérdidas de materiales a lo largo de todo el proceso de reciclaje de plásticos. En este caso, se aplica al tratamiento de tres tipos de polímeros: PET (tereftalato de polietileno), PP (polipropileno) y PEAD (polietileno de alta densidad).

Para cada tipo de plástico, el balance considera desde la materia prima inicial (residuos plásticos) hasta la obtención de hojuelas limpias y secas, listas para ser comercializadas como producto reciclado.

Siguiendo el principio de: Entradas es igual a salida y acumulación. Subdividimos y agrupamos líneas de ingreso y salida para cada proceso, siendo MP la Materia Prima.

**Figura 26**

*Líneas de entrada y salida en el Proceso Global*

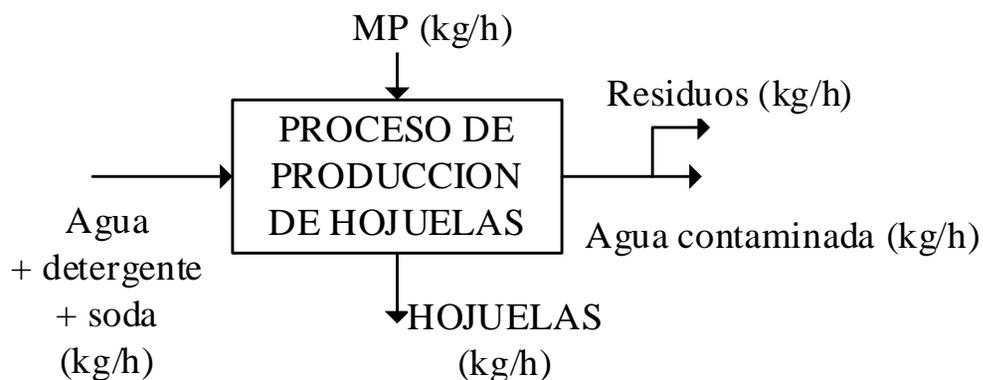


Tabla 67

*Balance de Materia para el Proceso Global*

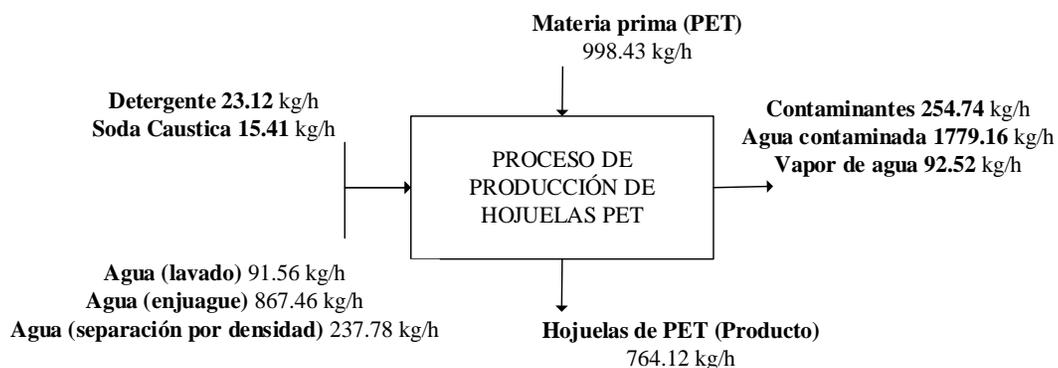
<i>PROCESO DE PET</i>		<i>PROCESO DE PP</i>		<i>PROCESO DE PEAD</i>	
<b>ENTRADA</b>					
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>
<b>Materia prima</b>	998.43	<b>Materia prima</b>	964.74	<b>Materia prima</b>	386.27
<b>Detergente</b>	23.12	<b>Detergente</b>	18.91	<b>Detergente</b>	4.81
<b>Soda Caustica</b>	15.41	<b>Agua (lavado)</b>	214.53	<b>Agua (lavado)</b>	128.82
<b>Agua (lavado)</b>	144.51	<b>Agua (enjuague)</b>	970.56	<b>Agua (enjuague)</b>	435.43
<b>Agua (enjuague)</b>	1,341.38				
<b>Agua (separación por densidad)</b>	367.68				
<b>Total</b>	<b>2,890.54</b>	<b>Total</b>	<b>2168.74</b>	<b>Total</b>	<b>955.33</b>
<b>SALIDA</b>					
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>
<b>Hojuelas de PET (Producto)</b>	764.12	<b>Hojuelas de PP (Producto)</b>	556.54	<b>Hojuelas de PEAD (Producto)</b>	318.46
<b>Contaminantes</b>	254.74	<b>Contaminantes</b>	208.38	<b>Contaminantes</b>	65.66
<b>Agua contaminada</b>	1,779.16	<b>Agua contaminada</b>	1394.19	<b>Agua contaminada</b>	566.37
<b>Vapor de agua</b>	92.52	<b>Vapor de agua</b>	9.62	<b>Vapor de agua</b>	4.85
<b>Total</b>	<b>2,890.54</b>	<b>Total</b>	<b>2168.74</b>	<b>Total</b>	<b>955.33</b>

### 3.4.7.1. Diagramas de Flujo para las 3 líneas

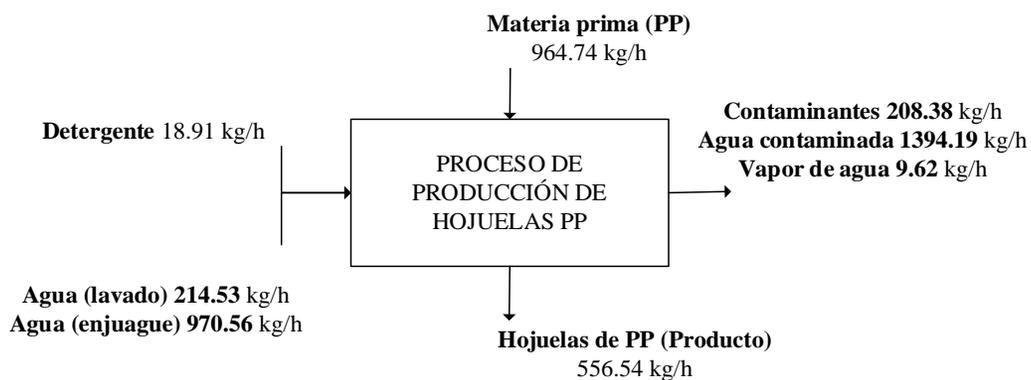
A continuación, se presentan los diagramas de Flujo de Entradas y Salidas para los procesos de producción de las hojuelas de PET, PP y PEAD en las figuras N° 27, 28 y 29, respectivamente.

**Figura 27**

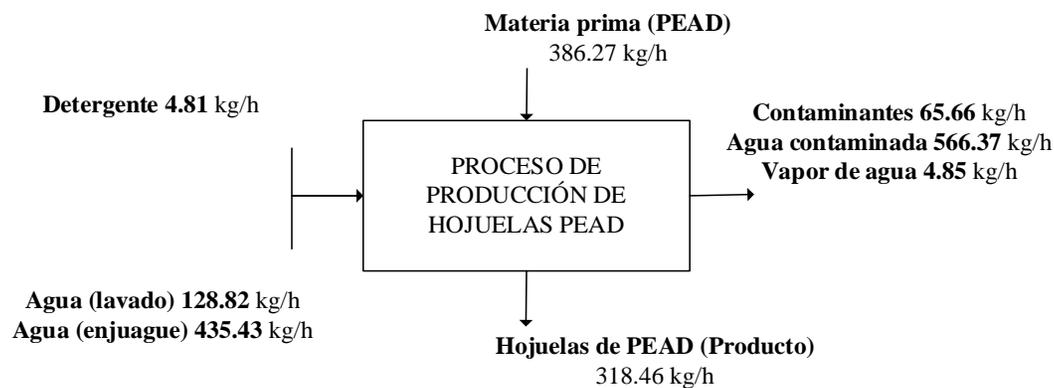
*Diagrama de Flujo global para el proceso de hojuelas PET*

**Figura 28**

*Diagrama de Flujo global para el proceso de hojuelas PP*

**Figura 29**

*Diagrama de Flujo global para el proceso de hojuelas PEAD*



El balance global permite evidenciar el comportamiento integral del proceso de reciclaje para cada tipo de plástico tratado en la planta: PET, PP y PEAD. En todos los casos, se observa que la mayor proporción del flujo másico de entrada corresponde al agua, utilizada principalmente en las etapas de lavado y enjuague, y en el caso del PET, también en la separación por densidad.

Por ejemplo, en el proceso de PET, de los 2890.54 kg/h de insumos totales, el 64.12% corresponde solo al agua de lavado, enjuague y separación por densidad, lo que pone en evidencia la importancia de implementar sistemas de recirculación y tratamiento de aguas para reducir el consumo hídrico y minimizar el impacto ambiental del proceso.

Estas diferencias en rendimiento se explican por las características físico-químicas de cada polímero y su comportamiento frente a los procesos de lavado y secado. El PP, por ejemplo, presenta mayores pérdidas debido a su baja densidad y mayor presencia de contaminantes adheridos, que dificultan su separación. En cambio, el PEAD, con una estructura más resistente y homogénea, permite una mejor limpieza y una menor generación de residuos.

En cuanto a la generación de residuos líquidos, el proceso de PET es el que genera mayor volumen de agua contaminada, con 1779.16 kg/h, lo que representa un 61.55% del total del flujo de entrada. Le siguen el PP con 1394.19 kg/h (64.28%) y el PEAD con 566.37 kg/h (59.28%). Además, aunque en menor proporción, se genera vapor de agua en el proceso de secado: 92.52 kg/h en PET, 9.62 kg/h en PP y 4.85 kg/h en PEAD.

#### **3.4.7.2. Resumen de rendimientos en las 3 líneas**

En la Tabla N° 68, se presenta el resumen del valor de los rendimientos en cada línea de producción.

**Tabla 68***Resumen de Rendimientos en las 3 líneas de proceso*

<b>Línea de Proceso</b>	<b>Entrada (kg)</b>	<b>Salida útil (kg)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
<b>PET</b>	998.43	764.12	76.53%
<b>PP</b>	964.74	556.54	57.69%
<b>PEAD</b>	386.27	318.46	82.44%

El proceso de reciclaje de PET permite obtener 764.12 kg de hojuelas limpias a partir de una entrada de 998.43 kg, lo que representa un rendimiento del 76.53 % en la línea de producción.

En el caso del PP, se procesaron 964.74 kg de material, de los cuales 556.54 kg fueron aprovechados como producto final, alcanzando un rendimiento de 57.69 %.

Por su parte, el reciclaje de PEAD generó una salida útil de 318.46 kg sobre una entrada de 386.27 kg, logrando así un rendimiento del 82.44% dentro del proceso.

#### **3.4.8. Balance de energía**

El presente apartado tiene como objetivo realizar el balance de energía del proceso de reciclaje de plásticos (PET, PEAD y PP), considerando la etapa de lavado en caliente. Este análisis permite determinar la cantidad de energía térmica y eléctrica necesaria, estimar costos operativos y evaluar la eficiencia del sistema. Además, contribuye al diseño sostenible del proceso mediante la identificación de posibles pérdidas energéticas.

El balance de energía se basa en el primer principio de la termodinámica, que establece que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. Para sistemas abiertos o cerrados en estado estacionario (Çengel & Boles, 2015), este principio puede expresarse como:

$$Q_{entrada} + W_{entrada} = Q_{salida} + W_{salida} + \Delta E_{sistema} \quad (30)$$

En el caso de procesos térmicos como el lavado, se considera principalmente el calor transferido a los materiales (calor sensible), despreciando trabajo mecánico y cambios en energía cinética o potencial.

**Calor sensible** (para elevar temperatura de un cuerpo) (Moran & Shapiro, 2012):

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (31)$$

Donde:

- Q: Calor (kJ)
- m: Masa (kg)
- $C_p$ : Capacidad calorífica específica (kJ/kg·°C)
- $\Delta T$ : Variación de temperatura (°C)

Cuando el sistema de calentamiento no es 100% eficiente, el calor útil debe dividirse entre la eficiencia para obtener el calor total suministrado por el combustible (Çengel & Boles, 2015):

$$Q_{combustible} = \frac{Q_{\acute{u}til}}{\eta} \quad (32)$$

### Supuestos y condiciones del sistema

Para el presente estudio se han considerado los siguientes supuestos con el fin de simplificar y facilitar el cálculo energético (Çengel & Boles, 2015):

1. **Estado estacionario:** Se considera que el sistema opera en condiciones constantes durante cada ciclo de operación.
2. **Sistema cerrado por etapas:** Se analiza cada etapa (lavado, enjuague) como un sistema cerrado, es decir, no hay entrada o salida de masa durante el análisis.

3. **Pérdidas menores despreciables:** as pérdidas térmicas al ambiente por convección y radiación se consideran mínimas.
4. **Propiedades constantes:** Se asume que las capacidades caloríficas de los materiales no varían con la temperatura.
5. **Sin reacción química:** No hay transformación química, solo cambios físicos (calentamiento, evaporación).
6. **Agua y detergente como un solo fluido:** Se considera que el calor específico del agua y el detergente es el mismo, debido a la alta dilución del detergente en el agua (4.184 kJ/kg·°C).
7. **Temperatura ambiente promedio:** Se toma como referencia una temperatura ambiental de 20 °C.

Las variables empleadas en el balance de energía, se pueden apreciar en la Tabla N° 69.

**Tabla 69**

*Parámetro utilizados*

Variable	Significado
Q	Calor (energía térmica), en kJ
Q <sub>0</sub>	Calor necesario para calentar el agua del tanque
Q <sub>1</sub>	Calor para elevar temperatura del PET/PEAD/PP, agua adicional, detergente
Q <sub>2</sub>	Calor total necesario para el proceso (Q <sub>0</sub> + Q <sub>1</sub> )
Q <sub>GLP</sub>	Calor suministrado por el GLP con eficiencia considerada
Q <sub>R</sub>	Calor recuperado por el agua recirculada
Q <sub>útil</sub>	Calor neto transferido al sistema (Q <sub>2</sub> - Q <sub>R</sub> )
η	Eficiencia del sistema de calentamiento (%)
T <sub>0</sub> , T <sub>1</sub> , T <sub>3</sub> , Tr	Temperaturas: inicial del agua, ingreso del plástico, final del proceso, y agua recirculada (°C)

Variable	Significado
C <sub>p</sub>	Capacidad calorífica específica (kJ/kg·°C), indica cuánta energía se necesita para elevar en 1°C la temperatura de 1 kg de sustancia
m	Masa (kg)
PCI	Poder Calorífico Inferior del GLP (46,000 kJ/kg)

En la Tabla N° 70 se aprecia la capacidad calorífica de sustancias utilizadas.

**Tabla 70**

*Valores de capacidad calorífica (C<sub>p</sub>)*

Sustancia	C <sub>p</sub> (kJ/kg·°C)	Fuente
Agua	4.184	(Çengel & Boles, 2015)
Detergente	4.184	Asimilado al agua por alta dilución
PET	1.275	(Moran & Shapiro, 2012)
PP / PEAD	1.80	(GREEN & PERRY, 2008).
NaOH (sosa)	1.38	Engineering Toolbox / literatura técnica

### **Cálculo de la Temperatura del Agua Recirculada**

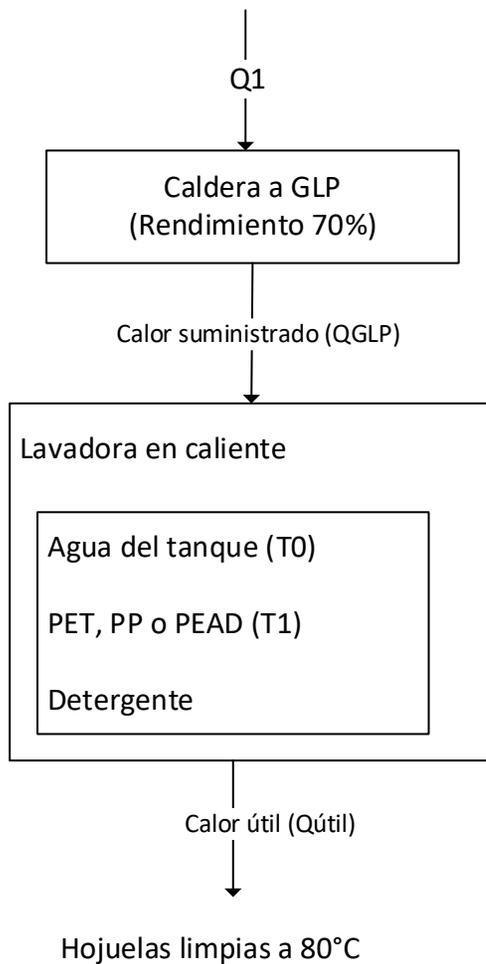
La estrategia de recirculación implementada en el sistema aprovecha el agua del enjuague (que ha sido calentada por contacto con hojuelas calientes), enviándola de regreso al tanque del lavado. Para calcular la temperatura promedio de esta agua recirculada ( $T_r$ ), se aplicó un balance de energía por mezcla, entre el agua fría y las hojuelas calientes, utilizando datos experimentales del proceso de enjuague.

$$T_r = \frac{m \times C_p \times T + m_{agua} \times C_{p,agua} \times T_{agua}}{m \times C_p + m_{agua} \times C_{p,agua}} \quad (33)$$

Este enfoque permite disminuir el consumo de combustible, al reducir la diferencia de temperatura que debe ser alcanzada.

### Figura 30

*Esquema del Balance de Energías en la Lavadora en caliente*



La figura N° 30 representa el balance de energía del sistema de lavado en caliente utilizado en la planta de reciclaje de plásticos PET, PEAD y PP.

### ➤ Secuencia de Pasos en el Balance de Energía

En este proceso, primero, se determinó el calor necesario para calentar el agua fresca del tanque desde su temperatura ambiente hasta la temperatura de lavado. Este requerimiento se representó como  $Q_0$ .

A continuación, se calculó el calor que debe ser absorbido por los materiales que ingresan al sistema (PET, agua adicional, detergente, soda cáustica y agua recirculada) para elevar su temperatura al mismo nivel. Este conjunto de requerimientos se agrupó como  $Q_1$ .

La suma de  $Q_0$  y  $Q_1$  constituyó el calor total necesario para el proceso, denominado  $Q_2$ .

Este calor fue provisto por la combustión de GLP, pero considerando la eficiencia del sistema de calentamiento, se determinó el calor total que debió ser suministrado para cubrir  $Q_2$ . Esta cantidad se denominó  $Q_{GLP}$ .

Paralelamente, se consideró el calor recuperado a través de la recirculación del agua caliente, ya que esta ingresa al proceso con una temperatura mayor a la del resto de insumos. Este aporte energético fue identificado como  $Q_R$ .

Finalmente, al restar el calor recuperado ( $Q_R$ ) del total requerido ( $Q_2$ ), se obtuvo el calor útil real del sistema, definido como  $Q_{\text{útil}}$ .

El rendimiento energético global del proceso se evaluó como el cociente entre el calor útil ( $Q_{\text{útil}}$ ) y el calor suministrado por el GLP ( $Q_{GLP}$ ), reflejando la eficiencia del sistema en términos energéticos. .

#### **3.4.8.1. Balance de energía en el proceso de lavado en caliente**

El lavado en caliente tiene como propósito eliminar impurezas orgánicas e inorgánicas adheridas a los residuos plásticos (etiquetas, grasas, adhesivos, residuos alimenticios, entre otros.)

que no pueden removerse completamente en un lavado en frío. Esta etapa es especialmente importante en el reciclaje de PET, PEAD y PP.

El lavado en caliente es un proceso de transferencia de calor, donde el agua caliente transfiere energía a las hojuelas de plástico para elevar su temperatura y facilitar la remoción de impurezas. La eficiencia del lavado depende de:

- Temperatura del agua (usualmente entre 70 °C y 90 °C).
- Tiempo de residencia del plástico en el sistema.
- Cantidad y tipo de detergente utilizado.
- Agitación o fricción en el equipo de lavado.

En términos energéticos, se requiere calor para:

1. Calentar el agua desde temperatura ambiente hasta la temperatura de operación.
2. Compensar las pérdidas térmicas del sistema.
3. Transferir calor al material plástico (que ingresa a menor temperatura).

Para calentar el agua hasta la temperatura de operación se requiere una fuente térmica, para este caso utilizamos una caldera a GLP.

El requerimiento energético se calcula en función de la masa de agua y de PET a calentar, considerando sus capacidades caloríficas específicas:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (34)$$

Donde

Q: calor necesario (kJ),

m: masa (kg),

C<sub>p</sub>: capacidad calorífica específica (kJ/kg·°C),

ΔT: cambio de temperatura (°C).

A esto se suma una eficiencia del calentador 70%, lo cual determina el consumo real de combustible.

Se ha considerado un rendimiento del 70% para el sistema de calentamiento a GLP, que corresponde a un valor estándar industrialmente aceptado para calderas o calentadores de agua a gas convencionales. Esto implica que, del total de energía química contenida en el combustible, un 70% es transferido efectivamente al agua, mientras que el 30% se pierde por:

- Gases de combustión evacuados.
- Pérdidas por radiación y conducción térmica del sistema.
- Ineficiencias en la transferencia de calor (Çengel & Boles, 2015).

### 1. Balance de energía para el PET

**Tabla 71**

*Datos del PET*

<b>Datos</b>	
Masa de PET	770.74 kg
Masa de agua	144.51 kg
Masa agua recirculada	1011.60 kg
Masa detergente	23.12 kg
Masa soda caustica	15.41 kg
Temperatura inicial (T0)	20 °C
Temperatura final (T3)	80 °C
Temp. Recirculada (Tr)	30.13 °C
Cp del PET	1.275 kJ/kg°C
Cp del agua	4.184 kJ/kg°C
Cp del detergente	4.184 kJ/kg°C
Cp NaOH	1.38 kJ/kg°C
Rendimiento calentador	70 %
Agua inicial en tanque	144.51 kg
Cp GLP	46,000 kJ/kg

a) **Cálculo de la temperatura de agua de recirculación**

Se tomaron los valores de la etapa de enjuague del PET Tabla N° 71.

$$T_r = \frac{m_{PET} \times C_{p,PET} \times T_{PET} + m_{agua} \times C_{p,agua} \times T_{agua}}{m_{PET} \times C_{p,PET} + m_{agua} \times C_{p,agua}}$$

$$T_r = \frac{894.25 \times 1.275 \times 80 + 1341.38 \times 4.184 \times 20}{894.25 \times 1.275 + 1341.38 \times 4.184}$$

$$T_r = 30.13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b) **Calor necesario para calentar el agua del tanque (Q<sub>0</sub>):**

$$Q_0 = m_{tanque} \times C_{p,agua} \times (T_3 - T_{ref}) \quad (35)$$

$$Q_0 = 144.51 \times 4.184 \times (80 - 20)$$

$$Q_0 = 36,278.69 \text{ kJ}$$

c) **Energía necesaria para calentar el PET, agua adicional, detergente y sosa caustica (Q<sub>1</sub>):**

$$1. \quad Q_{PET} = m_{PET} \times C_{p,PET} \times (T_3 - T_{ref}) \quad (36)$$

$$Q_{PET} = 770.74 \times 1.275 \times (80 - 20)$$

$$Q_{PET} = 54048.08 \text{ kJ}$$

$$2. \quad Q_{agua} = m_{agua} \times C_{p,agua} \times (T_3 - T_{inicial}) \quad (37)$$

$$Q_{agua} = 144.51 \times 4.184 \times (80 - 20)$$

$$Q_{agua} = 36278.69 \text{ kJ}$$

$$3. \quad Q_{detergente} = m_{detergente} \times C_{p,detergente} \times (T_3 - T_{ini}) \quad (38)$$

$$Q_{detergente} = 23.12 \times 4.184 \times (80 - 20)$$

$$Q_{detergente} = 5804.59 \text{ kJ}$$

$$4. Q_{soda} = m_{soda} \times C_{p,soda} \times (T_3 - T_{inicial}) \quad (39)$$

$$Q_{soda} = 15.41 \times 1.38 \times (80 - 20)$$

$$Q_{soda} = 1276.34 \text{ kJ}$$

$$5. Q_{recirculación} = m_{recir} \times C_{p,agua} \times (T_3 - T_{recir.})$$

$$Q_{recirculación} = 1011.60 \times 4.184 \times (80 - 30.13)$$

$$Q_{recirculación} = 211070.79 \text{ kJ}$$

$$6. Q_1 = Q_{PET} + Q_{agua} + Q_{detergente} + Q_{soda} + Q_{recirc} \quad (40)$$

$$Q_1 = 54048.08 + 36278.69 + 5804.59 + 1276.34 + 211070.79$$

$$Q_1 = 308478.50 \text{ kJ}$$

**d) Calor total necesario ( $Q_2$ ):**

$$Q_2 = Q_0 + Q_1 \quad (41)$$

$$Q_2 = 36,278.69 + 308,478.50$$

$$Q_2 = 344,757.19 \text{ kJ}$$

**e) Calor suministrado por el GLP considerando la eficiencia del calentador:**

$$Q_{GLP} = \frac{Q_2}{0.7} \quad (42)$$

$$Q_{GLP} = \frac{344,757.19}{0.7}$$

$$Q_{GLP} = 492,510.28 \text{ kJ}$$

**f) Masa de GLP necesaria:**

$$\text{Masa de GLP} = \frac{Q_{GLP}}{PCI \text{ GLP}} \quad (43)$$

$$\text{Masa de GLP} = \frac{492,510.28 \text{ kJ}}{46000 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{Masa de GLP} = 10.71 \text{ kg}$$

g) **Calor recuperado por recirculación de agua (Q<sub>R</sub>):**

$$Q_R = m_{\text{recirculada}} \times C_{p,\text{agua}} \times (T_{\text{recirculada}} - T_{\text{ref}}) \quad (44)$$

$$Q_R = 1011.60 \times 4.184 \times (30.13 - 20)$$

$$Q_R = 42,880.06 \text{ kJ}$$

h) **Calor útil final (Q útil):**

$$Q_{\text{útil}} = Q_2 - Q_R \quad (45)$$

$$Q_{\text{útil}} = 344,757.19 - 42,880.06$$

$$Q_{\text{útil}} = 301,877.13 \text{ kJ}$$

i) **Rendimiento energético global:**

$$\text{Rendimiento} = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{GLP}}} \times 100 \quad (46)$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{301,877.13}{492,510.28} \times 100$$

$$\eta = 61.29 \%$$

j) **Costo mensual del GLP**

Precio GLP: 3.24 S/. /Kg

Días al mes: 26 días

$$\text{Costo anual} = 10.71 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3.24 \frac{\text{S/}}{\text{kg}} \times \frac{8 \text{ h}}{1 \text{ día}} \times \frac{26 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{Costo anual} = \text{S/ } 86,585.88$$

## 2. Balance de energía para el PP

Tabla 72

Datos del PP

DATOS	
Masa de PP	756.36 kg
Masa, agua inicial	214.53 kg
Masa, agua recirculada	920.01 kg
Masa detergente	18.91 kg/h
Temp inicial	20 °C
Temp final	80 °C
Temp agua recirculada	33.94 °C
Cp, PP	1.80 kJ/kg·°C
Cp, agua	4.184 kJ/kg·°C
Cp, detergente	4.184 kJ/kg·°C
PCI, GLP	46,000 kJ/kg
Rendimiento (n)	70 %
Masa de agua inicial	214.53 kg

### a) Cálculo de la temperatura de agua de recirculación para el PP

Se tomaron los valores de la etapa de enjuague del PP Tabla N° 72.

$$T_r = \frac{m_{PP} \times C_{p,PP} \times T_{PP} + m_{agua} \times C_{p,agua} \times T_{agua}}{m_{PP} \times C_{p,PP} + m_{agua} \times C_{p,agua}}$$

$$T_r = \frac{647.04 \times 1.9 \times 80 + 970.56 \times 4.184 \times 20}{647.04 \times 1.9 + 970.56 \times 4.184}$$

$$T_r = 33.94 \text{ °C}$$

### b) Calor necesario para calentar el agua del tanque (Q<sub>0</sub>):

$$Q_0 = m_{tanque} \times C_{p,agua} \times (T_3 - T_{ref})$$

$$Q_0 = 214.53 \times 4.184 \times (80 - 20)$$

$$Q_0 = 53,854.37 \text{ kJ}$$

c) **Calor necesario para calentar el PP, agua adicional, detergente ( $Q_1$ ):**

$$1. Q_{PP} = m_{PP} \times C_{p,PP} \times (T_3 - T_{ref}) \quad (47)$$

$$Q_{PP} = 756.36 \times 1.80 \times (80 - 20)$$

$$Q_{PP} = 74,879.55 \text{ kJ}$$

$$2. Q_{agua} = m_{agua} \times C_{p,agua} \times (T_3 - T_{inicial}) \quad (48)$$

$$Q_{agua} = 214.53 \times 4.184 \times (80 - 20)$$

$$Q_{agua} = 53,854.37 \text{ kJ}$$

$$3. Q_{detergente} = m_{detergente} \times C_{p,detergente} \times (T_3 - T_{ini}) \quad (49)$$

$$Q_{detergente} = 18.91 \times 4.184 \times (80 - 20)$$

$$Q_{detergente} = 4,746.91 \text{ kJ}$$

$$4. Q_{recirculación} = m_{recir} \times C_{p,agua} \times (T_3 - T_{recir.})$$

$$Q_{recirculación} = 920.01 \times 4.184 \times (80 - 33.94)$$

$$Q_{recirculación} = 177,287.95 \text{ kJ}$$

$$5. Q_1 = Q_{PP} + Q_{agua} + Q_{detergente} + Q_{recirc} \quad (50)$$

$$Q_1 = 74,879.55 + 53,854.37 + 4,746.91 + 177,287.95$$

$$Q_1 = 310,768.79 \text{ kJ}$$

d) **Calor total necesario ( $Q_2$ ):**

$$Q_2 = Q_0 + Q_1$$

$$Q_2 = 53,854.37 + 310,768.79$$

$$Q_2 = 364,623.16 \text{ kJ}$$

e) **Calor suministrado por el GLP considerando la eficiencia del calentador:**

$$Q_{GLP} = \frac{Q_2}{0.7}$$

$$Q_{GLP} = \frac{364,623.16}{0.7}$$

$$Q_{GLP} = 520,890.23 \text{ kJ}$$

f) **Masa de GLP necesaria:**

$$\text{Masa de GLP} = \frac{Q_{GLP}}{PCI_{GLP}}$$

$$\text{Masa de GLP} = \frac{520,890.23}{46000}$$

$$\text{Masa de GLP} = 11.32 \text{ kg/h}$$

g) **Calor recuperado por recirculación de agua (QR):**

$$Q_R = m_{recirculada} \times C_{p,agua} \times (T_{recirculada} - T_{ref})$$

$$Q_R = 920.01 \times 4.184 \times (33.94 - 20)$$

$$Q_R = 53,672.26 \text{ kJ}$$

h) **Calor útil final (Q útil):**

$$Q_{\text{útil}} = Q_2 - QR$$

$$Q_{\text{útil}} = 364,623.16 - 53,672.26$$

$$Q_{\text{útil}} = 310,950.90 \text{ kJ}$$

i) **Rendimiento energético global:**

$$\text{Rendimiento} = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{GLP}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{310,950.90}{520,890.23} \times 100$$

$$\eta = 59.70 \%$$

j) **Costo mensual del GLP**

Precio GLP: 3.24 S/kg

Días al mes: 26 días

$$\text{Costo anual} = 11.32 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3.24 \frac{\text{S}}{\text{kg}} \times \frac{8 \text{ h}}{1 \text{ día}} \times \frac{26 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

Costo anual= S/ 91,575.22

### 3. Balance de energía para el PEAD

**Tabla 73**

*Datos del PEAD*

DATOS	
Masa de PEAD	320.62 kg
Masa, agua inicial	128.82 kg
Masa, agua recirculada	352.11 kg
Masa detergente	4.81 kg/h
Temp inicial	20 °C
Temp final	80 °C
Temp agua recirculada	33.94 °C
Cp, PEAD	1.80 KJ/kg·°C
Cp, agua	4.184 KJ/kg·°C
Cp, detergente	4.184 KJ/kg·°C
PCI, GLP	46,000 KJ/kg
Rendimiento (n)	70 %
Masa de agua inicial	128.82 kg

#### a) Cálculo de la temperatura de agua de recirculación para el PEAD

Se tomaron los valores de la etapa de enjuague del PEAD Tabla N° 73.

$$T_r = \frac{m_{PEAD} \times C_{P,PEAD} \times T_{PEAD} + m_{agua} \times C_{P,agua} \times T_{agua}}{m_{PEAD} \times C_{P,PEAD} + m_{agua} \times C_{P,agua}}$$

$$T_r = \frac{290.29 \times 1.9 \times 80 + 435.43 \times 4.184 \times 20}{290.29 \times 1.9 + 435.43 \times 4.184}$$

$$T_r = 33.94 \text{ °C}$$

**b) Calor necesario para calentar el agua del tanque ( $Q_0$ ):**

$$Q_0 = m_{\text{tanque}} \times C_{p,\text{agua}} \times (T_3 - T_{\text{ref}})$$

$$Q_0 = 128.82 \times 4.184 \times (80 - 20)$$

$$Q_0 = 32,338.25 \text{ kJ}$$

**c) Calor necesario para calentar el PEAD, agua adicional, detergente ( $Q_1$ ):**

$$1. Q_{\text{PEAD}} = m_{\text{PEAD}} \times C_{p,\text{PEAD}} \times (T_3 - T_{\text{ref}}) \quad (51)$$

$$Q_{\text{PEAD}} = 320.62 \times 1.80 \times (80 - 20)$$

$$Q_{\text{PEAD}} = 31,741.14 \text{ kJ}$$

$$2. Q_{\text{agua}} = m_{\text{agua}} \times C_{p,\text{agua}} \times (T_3 - T_{\text{inicial}}) \quad (52)$$

$$Q_{\text{agua}} = 128.82 \times 4.184 \times (80 - 20)$$

$$Q_{\text{agua}} = 32,338.25 \text{ kJ}$$

$$3. Q_{\text{detergente}} = m_{\text{detergente}} \times C_{p,\text{detergente}} \times (T_3 - T_{\text{ini}})$$

$$Q_{\text{detergente}} = 4.81 \times 4.184 \times (80 - 20)$$

$$Q_{\text{detergente}} = 1,207.32 \text{ kJ}$$

$$4. Q_{\text{recirculación}} = m_{\text{recir}} \times C_{p,\text{agua}} \times (T_3 - T_{\text{recir.}})$$

$$Q_{\text{recirculación}} = 352.11 \times 4.184 \times (80 - 33.94)$$

$$Q_{\text{recirculación}} = 67,851.96 \text{ kJ}$$

$$5. Q_1 = Q_{\text{PEAD}} + Q_{\text{agua}} + Q_{\text{detergente}} + Q_{\text{recirc}}$$

$$Q_1 = 31,741.14 + 32,338.25 + 1,207.32 + 67,851.96$$

$$Q_1 = 133,138.67 \text{ kJ}$$

**d) Calor total necesario ( $Q_2$ ):**

$$Q_2 = Q_0 + Q_1$$

$$Q_2 = 32,338.25 + 133,138.67$$

$$Q_2 = 165,476.92 \text{ kJ}$$

**e) Calor suministrado por el GLP considerando la eficiencia del calentador:**

$$Q_{GLP} = \frac{Q_2}{0.7}$$

$$Q_{GLP} = \frac{165,476.92}{0.7}$$

$$Q_{GLP} = 236,395.60 \text{ kJ}$$

**f) Masa de GLP necesaria:**

$$\text{Masa de GLP} = \frac{Q_{GLP}}{PCI_{GLP}}$$

$$\text{Masa de GLP} = \frac{236,395.60}{46000}$$

$$\text{Masa de GLP} = 5.14 \text{ kg}$$

**g) Calor recuperado por recirculación de agua ( $Q_R$ ):**

$$Q_R = m_{recirculada} \times C_{p,agua} \times (T_{recirculada} - T_{ref})$$

$$Q_R = 352.11 \times 4.184 \times (33.94 - 20)$$

$$Q_R = 20,541.54 \text{ kJ}$$

**h) Calor útil final ( $Q_{\text{útil}}$ ):**

$$Q_{\text{útil}} = Q_2 - Q_R$$

$$Q_{\text{útil}} = 165,476.92 - 20,541.54$$

$$Q_{\text{útil}} = 144,935.37 \text{ kJ}$$

**i) Rendimiento energético global:**

$$\text{Rendimiento} = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{GLP}}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{144,935.37}{236,395.60} \times 100$$

$$\eta = 61.31 \%$$

**j) Costo mensual del GLP**

Precio GLP: 3.24 S/kg

Días al mes: 26 días

$$\text{Costo anual} = 5.14 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 3.24 \frac{\text{S}}{\text{kg}} \times \frac{8 \text{ h}}{1 \text{ día}} \times \frac{26 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

Costo anual= S/ 41,559.58

### 3.4.9. Capacidad de producción

La capacidad de producción de la planta está determinada por la cantidad de residuos plásticos domiciliarios que se procesan anualmente y el rendimiento del sistema de transformación en hojuelas recicladas. En la Tabla N° 74, se presenta un resumen de la materia prima procesada y la cantidad de hojuelas producidas por año, expresadas en kilogramos por hora (Kg/h).

**Tabla 74**

*Capacidad de Producción*

AÑO	CANTIDAD DE MATERIA PRIMA (Kg/h)			CANTIDAD DE HOJUELAS PRODUCIDAS (Kg/h)		
	PET	PP	PEAD	PET	PP	PEAD
<b>2025</b>	543.4199	365.1294	353.5325	415.89	210.63	291.46
<b>2026</b>	634.1913	469.8085	361.1439	485.36	271.02	297.74

AÑO	CANTIDAD DE MATERIA PRIMA (Kg/h)			CANTIDAD DE HOJUELAS PRODUCIDAS (Kg/h)		
	PET	PP	PEAD	PET	PP	PEAD
<b>2027</b>	738.7770	600.1227	369.1254	565.40	346.20	304.32
<b>2028</b>	859.3519	762.4449	377.4971	657.68	439.84	311.22
<b>2029</b>	998.4313	964.7438	386.2746	764.12	556.54	318.46
<b>2030</b>	998.4313	964.7438	386.2746	764.12	556.54	318.46
<b>2031</b>	998.4313	964.7438	386.2746	764.12	556.54	318.46
<b>2032</b>	998.4313	964.7438	386.2746	764.12	556.54	318.46
<b>2033</b>	998.4313	964.7438	386.2746	764.12	556.54	318.46
<b>2034</b>	998.4313	964.7438	386.2746	764.12	556.54	318.46
<b>TOTAL</b>	8,766.33	7,985.97	3,778.95	6,709.05	4,606.91	3115.49

Durante los primeros cinco años se observa un crecimiento progresivo en la cantidad de materia prima procesada, hasta alcanzar una estabilidad operativa a partir del año 2029, año donde se alcanza la capacidad máxima de la planta propuesta. Este comportamiento refleja la etapa de consolidación y madurez del proyecto.

El rendimiento promedio del proceso se sitúa en el 70.3% aproximadamente, considerando mermas por impurezas, etiquetas, humedad y otros residuos no valorizables. Este nivel de eficiencia permite garantizar una producción estable y competitiva, adecuada para satisfacer la demanda proyectada en la región.

### ***3.4.10. Selección y distribución de la maquinaria y equipos en la planta industrial***

La selección y distribución de la maquinaria y equipos en la planta de reciclaje propuesta se ha realizado considerando el flujo lógico del proceso productivo, la eficiencia operativa, la seguridad industrial, y el aprovechamiento óptimo del espacio disponible (1,000 m<sup>2</sup>, distribuidos en 50 m x 20 m).

El Layout de la planta (Ver Apéndice N°5), responde a un diseño lineal de flujo continuo, desde la recepción hasta el almacenamiento final. La distribución fue organizada de la siguiente manera:

- Zona de clasificación manual: Acondicionada con mesas de PVC, es el punto donde los operarios realizan la separación inicial de materiales no aptos.
- Área de trituración y molienda: Aquí se encuentran el Trommel, el separador de etiquetas y el molino, alineados para minimizar traslados innecesarios y facilitar el control del proceso.
- Área de lavado y secado: Compuesta por el sistema de lavado en caliente, el enjuague, el separador por densidad, el tornillo transportador y la secadora, formando una línea de tratamiento húmedo para garantizar la limpieza del material.
- Área de separación por densidad: Integra el proceso con el objetivo de mejorar la calidad del producto final, separando materiales como PP o PEAD del PET.
- Área de almacenamiento de producto: Espacio amplio para la acumulación temporal de hojuelas limpias, listas para envasado o comercialización.
- Oficinas y servicios: Ubicados en la zona de ingreso, brindan soporte administrativo, sanitario y operativo al personal.

Con una capacidad instalada proyectada para procesar más de 2,000 toneladas anuales, planta ha sido dimensionada para responder al crecimiento sostenido de la demanda de plásticos reciclados en la región Cusco, con proyección al 2034 esta.

## Capítulo IV. Organización del proyecto

### 4.1. Aspectos generales.

El proyecto de la planta recicladora de plástico en la provincia de Cusco será gestionado bajo un modelo privado con la razón social de **GOVI PLAST Sociedad Anónima Cerrada (S.A.C.)**. Este modelo permitirá una administración eficiente, una mejor gestión de inversiones y una mayor flexibilidad en la toma de decisiones empresariales (ALIDE et al., 2021).

Se ha elegido la figura de **S.A.C.** porque permite la participación de 2 y 20 socios, lo que brinda flexibilidad para la gestión y facilita la incorporación de inversionistas sin afectar la estructura de la empresa, lo que facilita el control de la empresa y su crecimiento sostenido en el sector del reciclaje. Además, esta estructura jurídica brinda protección a los socios, limitando su responsabilidad al capital aportado (ALIDE et al., 2021).

El objetivo organizativo es establecer una estructura funcional que garantice un adecuado flujo de trabajo, optimizando los recursos humanos y materiales. La planta contará con un equipo multidisciplinario enfocado en la recolección, clasificación, procesamiento y comercialización de residuos plásticos.

En total, la planta contará con 47 trabajadores, distribuidos en áreas clave como administración, operaciones, logística y comercialización.

#### **Clasificación de la Empresa**

Principales tipos de empresas según su tamaño:

- **Microempresa:** Tiene hasta 10 trabajadores y ventas anuales menores a 150 UIT.
- **Pequeña empresa:** Cuenta con entre 11 y 50 trabajadores y ventas anuales de hasta 1700 UIT.

- **Mediana empresa:** Emplea entre 51 y 250 trabajadores y tiene ventas anuales de hasta 2300 UIT.
- **Gran empresa:** Supera los 250 trabajadores y ventas mayores a 2300 UIT (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo., 2023).

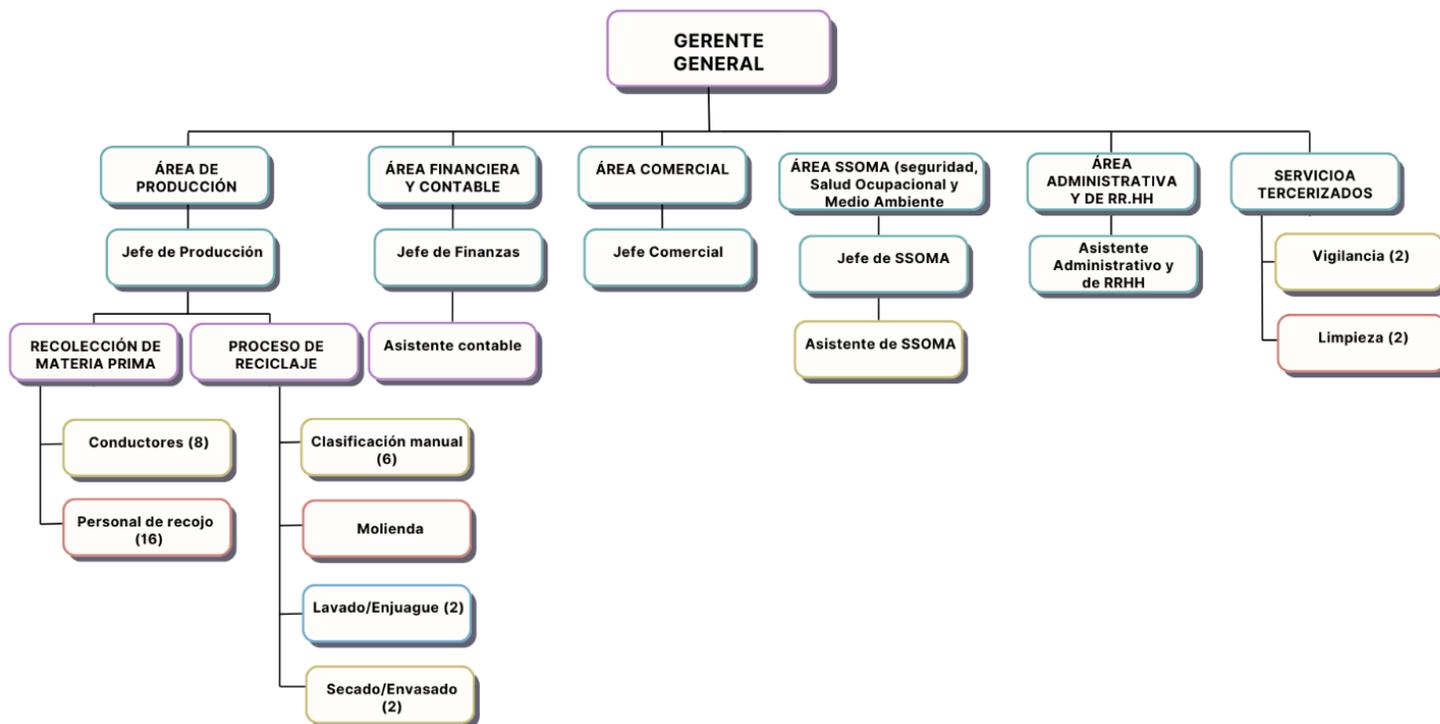
Teniendo en cuenta estos criterios, la planta recicladora se clasifica como una pequeña empresa, ya que contará con 47 trabajadores y su volumen de ventas inicial se encuentra dentro del rango establecido para este tipo de empresa.

#### **4.2. Estructura organizativa del proyecto**

La estructura organizativa del proyecto de planta recicladora de plásticos se ha diseñado bajo un modelo funcional, el cual agrupa al personal según sus competencias y funciones dentro de la operación. Este modelo facilita la eficiencia operativa, el cumplimiento normativo y la adecuada gestión de recursos.

Figura 31

*Estructura organizativa del proyecto*



Los perfiles descritos a continuación han sido adaptados del documento *Perfiles Ocupacionales del Perú* del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE), el cual se utiliza como fuente de referencia oficial para definir funciones y competencias laborales en el contexto peruano (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2023).

### ➤ Dirección General

**Puesto:** Gerente General

#### **Funciones:**

- Dirigir y supervisar todas las áreas de la planta.
- Tomar decisiones estratégicas para el funcionamiento del proyecto.

- Coordinar con entidades externas, proveedores y clientes clave.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Profesional en Ingeniería Petroquímica, Química o carreras afines. Experiencia mínima de 5 años en cargos gerenciales o de coordinación de proyectos industriales.

➤ **Área de Producción**

**Puesto: jefe del Área de Producción**

**Funciones:**

- Supervisar el proceso operativo desde la recolección hasta el envasado.
- Controlar el cumplimiento de metas de producción.
- Coordinar con las demás áreas para garantizar eficiencia.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Profesional en Ingeniería Petroquímica, Química o carreras afines. Experiencia mínima de 3 años en plantas industriales o de reciclaje.

**Puesto: Conductores (8)**

**Funciones:**

- Transportar la materia prima desde los puntos de recolección hasta la planta.
- Mantener las unidades en buen estado.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado, con horarios rotativos)

**Perfil:** Secundaria completa, breveté profesional vigente. Experiencia mínima de 1 año en transporte de materiales.

**Puesto: Personal de recojo (16)****Funciones:**

- Realizar el acopio y carga de residuos plásticos desde las zonas asignadas.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Secundaria completa. Experiencia en trabajos operativos o de campo.

**Puesto: Clasificadores manuales (6)****Funciones:**

- Separar manualmente los distintos tipos de plásticos según su composición.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Secundaria completa. Experiencia en clasificación o reciclaje es valorada.

**Puesto:** Operador de molienda (1)

**Funciones:**

- Operar la máquina moledora de plásticos.
- Reportar fallas o necesidades de mantenimiento.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Técnico en procesos industriales o secundaria completa con experiencia previa en maquinaria.

**Puesto:** Operarios de lavado y enjuague (2)

**Funciones:**

- Operar y controlar el sistema de lavado de plásticos.
- Verificar la limpieza adecuada del material.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Secundaria completa. Experiencia previa en plantas industriales es deseable.

**Puesto: Operarios de secado y envasado (2)****Funciones:**

- Realizar el secado del material reciclado.
- Envasar el producto para su almacenamiento o venta.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Secundaria completa. Experiencia en trabajos operativos.

- **Área SSOMA (Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente)**

**Puesto: jefe de SSOMA**

**Funciones:**

- Supervisar el cumplimiento de normas de seguridad y medio ambiente.
- Gestionar capacitaciones y protocolos de emergencia.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Ingeniero Ambiental, Industrial o afín. Especialización en SSOMA. Experiencia mínima de 3 años.

**Puesto: Asistente SSOMA**

**Funciones:**

- Apoyar en inspecciones, capacitaciones y elaboración de reportes.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Técnico en Seguridad Industrial, Medio Ambiente o afín. Experiencia mínima de 1 año.

➤ **Área Administrativa y de Recursos Humanos**

**Puesto: Asistente Administrativo y de RRHH**

**Funciones:**

- Gestionar contratos, planillas, permisos y registros del personal.
- Apoyar en trámites administrativos internos.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Técnico o egresado universitario en Administración, Recursos Humanos o afines.

Experiencia mínima de 2 años.

➤ **Área Financiera y Contable**

**Puesto: jefe de Finanzas**

**Funciones:**

- Elaborar presupuestos, controlar egresos e ingresos del proyecto.
- Supervisar pagos, cobranzas y relaciones bancarias.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Contador público colegiado o Economista. Experiencia mínima de 3 años en gestión financiera.

**Puesto: Asistente Contable**

**Funciones:**

- Apoyar en el registro contable, facturación y archivo de documentación financiera.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Técnico en Contabilidad. Experiencia mínima de 1 año.

➤ **Área Comercial**

**Puesto: jefe Comercial**

**Funciones:**

- Buscar y gestionar relaciones comerciales.
- Desarrollar estrategias de ventas y negociación.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Profesional en Administración, Marketing o afines. Experiencia mínima de 3 años en ventas industriales.

➤ **Servicios Tercerizados**

**Puesto: Personal de vigilancia (2)**

**Funciones:**

- Control de ingreso y salida del personal y vehículos.
- Reporte de incidentes de seguridad.

**Jornada:** 12 horas diarias, turnos rotativos (lunes a domingo)

**Perfil:** Secundaria completa. Curso básico de seguridad. Experiencia previa como agente de seguridad.

**Puesto: Personal de limpieza (2)**

**Funciones:**

- Mantener la limpieza de oficinas y áreas comunes de la planta.

**Jornada:** Tiempo completo (8 horas diarias, lunes a sábado)

**Perfil:** Secundaria completa. Experiencia en limpieza institucional.

### **4.3. Plan de recursos humanos**

El éxito del proyecto de la planta de producción de hojuelas de plásticos PET, PP y PEAD a partir del reciclaje depende en gran medida de la adecuada gestión del talento humano. Para ello, se establecen estrategias de contratación, capacitación e inducción del personal, asegurando que cuenten con las habilidades y conocimientos necesarios para desempeñar sus funciones de manera eficiente y contribuir al cumplimiento de los objetivos del proyecto.

#### **4.3.1. Contratación**

El proceso de contratación está enfocado en la selección de personal calificado para cada una de las áreas del proyecto. Se contemplan los siguientes perfiles clave:

##### **4.3.1.1. Operarios de planta**

Encargados de la manipulación, clasificación, lavado, secado y molienda de los plásticos para la producción de hojuelas. Se requiere experiencia en manejo de maquinaria industrial y conocimientos básicos de seguridad industrial (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo., 2023).

##### **4.3.1.2. Supervisor de producción**

Coordina las actividades de la planta y supervisa el cumplimiento de estándares de calidad en la producción de hojuelas. Debe contar con experiencia en gestión de procesos productivos y manejo de personal (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo., 2023).

#### **4.3.1.3. Personal administrativo**

Encargado de la gestión de logística, compras, control de inventarios y documentación regulatoria. Se valorará experiencia en administración y gestión ambiental (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo., 2023).

#### **4.3.2. Proceso de selección**

**Publicación de vacantes:** Anuncios en plataformas digitales, bolsas de empleo y contacto con instituciones de formación técnica (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2020a).

**Recepción y revisión de solicitudes:** Análisis de hojas de vida y preselección de candidatos (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2020a).

**Evaluación de candidatos:** Aplicación de entrevistas técnicas presenciales, pruebas de conocimientos y pruebas psicométricas en los casos requeridos (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2020a).

**Selección final y contratación:** Verificación de antecedentes laborales y firma de contrato bajo las normativas laborales vigentes (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2020a).

#### **4.3.3. Capacitación**

La capacitación del personal es fundamental para garantizar la eficiencia del proceso y la seguridad en el trabajo. Se implementarán programas de formación en las siguientes áreas clave:

**Manejo y procesamiento de plásticos:** Identificación de tipos de plásticos, sus propiedades y su impacto en la producción de hojuelas.

**Operación y mantenimiento de equipos:** Uso correcto de las máquinas de lavado, secado y molienda, resolución de problemas comunes y mantenimiento básico.

**Normas de seguridad e higiene industrial:** Capacitación en el uso de equipos de protección personal (EPP), prevención de riesgos laborales y protocolos en caso de emergencias (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2020b).

**Gestión ambiental:** Buenas prácticas para reducir el impacto ambiental del proceso de reciclaje, manejo de residuos y cumplimiento de normativas ambientales (Ministerio del Ambiente, 2020c).

**Control de calidad de hojuelas:** Métodos de inspección para garantizar que las hojuelas producidas cumplan con los estándares de calidad requeridos por la industria. (tamaño, color)

Las capacitaciones serán impartidas por expertos en cada área y se actualizarán periódicamente para mejorar el desempeño del equipo. Se realizarán mediante sesiones teóricas y prácticas, con evaluaciones al finalizar cada módulo para asegurar el aprendizaje efectivo.

#### **4.3.4. Inducción**

Antes de iniciar labores, cada nuevo colaborador pasará por un programa de inducción estructurado, que tendrá una duración de un par de días (tres días, recomendable) y abarcará los siguientes aspectos:

##### **Día 1: Introducción al proyecto y la empresa:**

Presentación de la misión, visión y valores de la empresa.

Explicación de los objetivos del proyecto y su impacto en el reciclaje de plásticos y la producción de hojuelas.

Normas generales de conducta y cultura organizacional.

##### **Día 2: Recorrido por la planta y presentación del equipo:**

Familiarización con las instalaciones y equipos.

Presentación de los supervisores y compañeros de trabajo.

Demostración del flujo de trabajo y procesos clave en la producción de hojuelas.

**Día 3: Normas internas y seguridad industrial:**

Explicación detallada de las reglas de seguridad, horarios y responsabilidades.

Prácticas de seguridad en el manejo de maquinaria y residuos.

Asignación de tutores: cada nuevo colaborador será acompañado por un trabajador experimentado durante la primera semana de trabajo para facilitar su adaptación.

Este plan de recursos humanos garantizará que el equipo de trabajo esté alineado con los objetivos del proyecto y pueda desempeñar sus funciones con eficiencia, seguridad y compromiso con la sostenibilidad ambiental (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2020a).

## Capítulo V. Estudio de impacto ambiental y Social

### 5.1. Estudio de probables impactos ambientales

La implementación de una planta de reciclaje para la producción de hojuelas plásticas a partir de residuos de PET, PP y PEAD en el distrito de San Sebastián, Cusco, busca reducir el impacto negativo de los residuos plásticos sobre el medio ambiente, promoviendo una economía circular. El recurso agua es el más afectado por el proyecto, principalmente en la fase operativa, debido al uso intensivo en el lavado de plásticos y a la generación de aguas residuales contaminadas con detergentes, grasas y micro plásticos. No obstante, como toda actividad industrial, esta conlleva impactos ambientales que deben ser evaluados, controlados y mitigados.

Se utilizó la matriz de Leopold para identificar los impactos en cada etapa del proyecto. Las principales actividades con impacto son:

#### Etapa de construcción

- Movimiento de tierras y adecuación del terreno
- Instalación de maquinaria y equipos
- Construcción de infraestructura (almacenes, zona de lavado, trituración)

#### Etapa operativa

- Recolección y clasificación de plásticos (PET, PP, PEAD)
- Lavado y secado
- Trituración y producción de escamas plásticas
- Manejo de residuos sólidos y aguas residuales

#### Etapa de cierre

- Desmontaje de equipos
- Restauración del área

### **Matriz de Leopold**

La Matriz de Leopold como se puede observar en la Tabla N° 76, es una herramienta que ayuda a identificar los impactos ambientales de las actividades de un proyecto. La matriz cruza las acciones del proyecto con los factores ambientales afectados, y cada celda se evalúa en términos de magnitud e importancia (Ponce, 2021).

Cada celda de intersección contiene 2 valores:

- Magnitud (M): Valor numérico de -10 (impacto negativo severo) a +10 (impacto positivo muy alto)
- Importancia (I): Valor de 1 a 10, según la sensibilidad del medio y severidad esperada.

Ecuación de evaluación:

$$\text{Impacto} = \text{Magnitud} \times \text{Importancia} \quad (53)$$

Según la escala de clasificación de impactos ambientales basada en el valor resultante (producto entre magnitud e importancia), se interpretan los impactos como nulos, bajos, moderados, altos o muy altos como se puede observar en la Tabla N° 75.

Tabla 75

Escala de interpretación de impactos

Valor del resultado	Clasificación de impacto
0	Nulo
±1 a ±20	Bajo
±21 a ±50	Moderado
±51 a ±100	Alto
>±100	Muy alto

Fuente: (Ponce, 2021)

Tabla 76

Matriz de Leopold

Componente	Físico			Población		Impacto por Actividad
Medio	Agua	Suelo	Aire	Económico	Social	
<b>Factores</b>	<b>Generación de efluentes</b>	<b>Desperdicios orgánicos</b>	<b>Generación de olores y ruido</b>	<b>Generación de empleos</b>	<b>Migración y comercio</b>	
<b>Ambientales</b>						
<b>Actividad</b>						
<b>Construcción</b>	-2 2	-4 5	-1 1	4 4	2 2	-5
<b>Instalación de maquinaria</b>	-1 2	-4 2	-1 2	3 3	2 2	1
<b>Puesta en marcha</b>	-2 2	-1 1	-1 1	4 4	2 3	16
<b>Recolección y clasificación</b>		-6 5		4 4	1 2	-12
<b>Molienda</b>		-1 2		1 1	2 3	5
<b>Lavado y enjuague</b>	-7 6	-2 2		3 3	2 3	-31
<b>Secado</b>			-1 2	1 1	2 3	5
<b>Transporte del producto</b>				3 4	1 3	15
<b>Restauraciones</b>	-1 2	-1 2	-1 2	2 2	2 2	2
<b>Impacto por Medio</b>	-54	-67	-8	84	41	
<b>Impacto por Componente</b>		-129		125		

La Matriz de Leopold permite tener una visión clara y completa de los impactos ambientales durante las diversas fases del proyecto. Los impactos más críticos que requieren mayor atención son aquellos relacionados con el lavado, manejo de residuos no reciclables y movimiento de tierras. Las medidas de mitigación deben centrarse en estos aspectos para garantizar la viabilidad ambiental del proyecto.

### **Resultado global del impacto**

Impactos negativos más significativos:

- En el agua: -54 - Tabla N°76 (Impacto global: Alto)
- En el suelo: -67 - Tabla N°76 (Impacto global: Alto)

Impactos positivos relevantes:

- Generación de empleo: +84 - Tabla N°76
- Migración y comercio: +41 - Tabla N°76

Suma total de impactos (representativos):

$\Sigma$  Impactos negativos = -129 - Tabla N°76

$\Sigma$  Impactos positivos = +125 - Tabla N°76

Impacto neto =  $-129 + 125 = -4$  (Impacto global: Bajo)

### **Recomendaciones:**

- Implementar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI).
- Separar residuos no reciclables y gestionarlos con operadores autorizados.
- Garantizar zonas de acopio cerradas y protegidas del suelo y lluvia.
- Implementar plan de restauración ecológica desde el inicio del proyecto.

## 5.2. Estudio de probables impactos sociales

La implementación de la planta recicladora también genera impactos sociales relevantes, tanto positivos como negativos, durante las distintas fases del proyecto (construcción, operación y cierre). La identificación de estos impactos se realizó mediante una revisión documental de experiencias similares en otras regiones del país y el uso de una matriz de identificación de impactos sociales (Ver Apéndice N° 4).

### **Impactos sociales positivos:**

- **Generación de empleo formal:** Se espera la contratación de personal para actividades de recolección, clasificación, molienda, lavado, mantenimiento, administración, entre otros, con condiciones laborales adecuadas bajo la Ley N.º 29783.
- **Inclusión de recicladores informales:** La planta tiene el potencial de integrar a recicladores independientes e informales a una red organizada de valorización, mejorando sus ingresos y condiciones de trabajo.
- **Dinamización económica local:** La demanda de servicios logísticos, insumos y mantenimiento técnico generará oportunidades para proveedores locales.
- **Educación ambiental:** A través de alianzas con municipalidades, se prevé implementar campañas de sensibilización sobre la separación de residuos, lo que contribuye al fortalecimiento de la cultura ambiental en la provincia.

### **Impactos sociales negativos:**

- **Percepción negativa del entorno:** Algunos pobladores cercanos al proyecto podrían mostrar resistencia por temores relacionados con olores, ruido o contaminación visual.

**Riesgo de exclusión social:** Si no se implementan estrategias adecuadas de inclusión, ciertos recicladores informales podrían ser desplazados o marginados del nuevo modelo de gestión.

### **5.2.1. Normas Ambientales Generales**

- **Ley General del Ambiente – Ley N.º 28611**

Establece los principios y normas básicas para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado para su desarrollo (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 2005)

- **Reglamento de la Ley General del Ambiente – D.S. N.º 019-2009-MINAM**

Desarrolla los instrumentos de gestión ambiental, incluyendo los estudios de impacto ambiental (EIA) y medidas de mitigación (Ministerio del Ambiente, 2009)

### **5.2.2. Gestión de Residuos Sólidos**

- **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos – Ley N.º 1278**

Norma marco para la gestión, valorización y disposición final de residuos sólidos, incluyendo residuos reaprovecharles como los plásticos (Diario El Peruano, 2017)

- **Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos – D.S. N.º 014-2017-MINAM**

Establece disposiciones técnicas para la clasificación, recolección, almacenamiento, transporte, valorización (reciclaje) y disposición de residuos (Ministerio del Ambiente, 2017d)

### 5.2.3. *Salud y Seguridad en el Trabajo*

- **Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo – Ley N.º 29783**

Busca prevenir riesgos laborales y garantizar condiciones seguras en el entorno laboral, aplicable a los trabajadores de la planta (Congreso de la República del Perú, 2011)

- **Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería e Industria – D.S. N.º 005-2012-TR**

Contiene normas específicas para prevención de riesgos en industrias manufactureras, aplicable al sector reciclaje (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo., 2012)

### 5.2.4. *Normativa sobre Agua, Aire y Ruido*

- **Estándares de Calidad Ambiental (ECA)**

ECA para agua – D.S. N.º 004-2017-MINAM

ECA para aire – D.S. N.º 003-2017-MINAM

ECA para suelo – D.S. N.º 011-2017-MINAM

(Ministerio del Ambiente, 2017a)

- **Límites Máximos Permisibles (LMP)**

LMP para efluentes líquidos no domésticos – D.S. N.º 010-2019-VIVIENDA (Ministerio de Vivienda, 2019)

LMP para emisiones atmosféricas – D.S. N.º 003-2017-MINAM. (Ministerio del Ambiente, 2017c)

### 5.3. Plan de remediación de impactos ambientales

Es un conjunto de acciones destinadas a corregir o compensar los daños ambientales causados por las actividades del proyecto, buscando restablecer las condiciones originales del entorno afectado, se puede observar la Tabla N° 77.

**Tabla 77**

*Plan de remediación de impactos ambientales*

<b>Actividad del proyecto</b>	<b>Factor ambiental afectado</b>	<b>Impacto identificado</b>	<b>Medida de mitigación propuesta</b>
<b>Lavado y Enjuague</b>	Agua superficial/subterránea	Contaminación por grasas, residuos orgánicos y químicos	Implementar sistema de recirculación de agua mediante decantación y filtro.  Riego periódico de suelos (con sistema manual); implementación de una campana de filtros para material particulado (micro plásticos y nano plásticos).
<b>Corte/molienda de plásticos</b>	Aire / salud ocupacional	Generación de polvo y material particulado	
<b>Transporte y manipulación interna</b>	Suelo	Baja compactación localizada	No requiere medida estructural, solo monitoreo y señalización.
<b>Almacenamiento de residuos contaminantes (grasas, sedimentos, restos de etiquetas)</b>	Suelo y agua	Posible filtración o lixiviación	Recolección en contenedores herméticos; entrega periódica a empresa autorizada.

#### 5.3.1. Plan de mitigación para el agua

El proceso de lavado en caliente de hojuelas de PET utiliza agua, soda cáustica y detergente disuelto, generando aguas residuales con altas cargas de grasas, residuos orgánicos y sustancias químicas. En la planta de reciclaje, se contemplan dos etapas principales donde se genera agua residual: el lavado en caliente y el enjuague. Para reducir el consumo hídrico y minimizar el

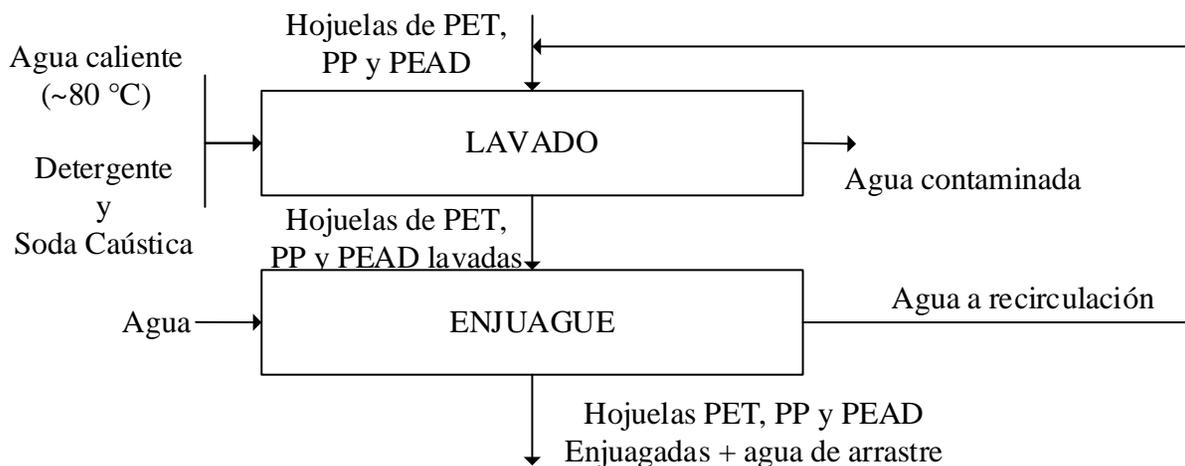
impacto ambiental, se ha diseñado un sistema de tratamiento y recirculación del agua que aprovecha al máximo los recursos.

### 5.3.1.1. Recirculación desde el proceso de enjuague hacia el lavado

El agua proveniente del enjuague, que tiene una carga contaminante menor, será recirculada hacia el proceso de lavado en caliente. Esta agua pasa primero por un sistema de filtrado primario para remover sólidos en suspensión y residuos orgánicos menores, asegurando una calidad adecuada para su reutilización, en la Tabla N° 78 se muestra el costo de compra de la maquinaria para recirculación del agua.

#### Figura 32

*Diagrama de la etapa de recirculación de agua, de la zona del enjuague al lavado, en las 3 líneas*



#### Tratamiento aplicado:

- Filtro de malla o arena
- Tanque de decantación

**Tabla 78**

*Costo de la Implementación del sistema de recirculación de agua*

<b>Equipo</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Filtro de malla/sedimentador	205.00
Tanque de sedimentación	5,550.00
Tanque de almacenamiento	2,220.00
Sistema de bombeo	749.90
<b>Total</b>	<b>8,724.90</b>

### **5.3.1.2. Tratamiento del Agua Contaminada**

Luego del proceso de lavado en caliente, el agua, ahora con mayor nivel de contaminación, se combina con el excedente contaminado del enjuague (agua no recirculada) y se somete a un tratamiento más completo antes de su disposición. El costo de la compra del sistema de tratamiento de aguas contaminadas se muestra en la Tabla N° 79.

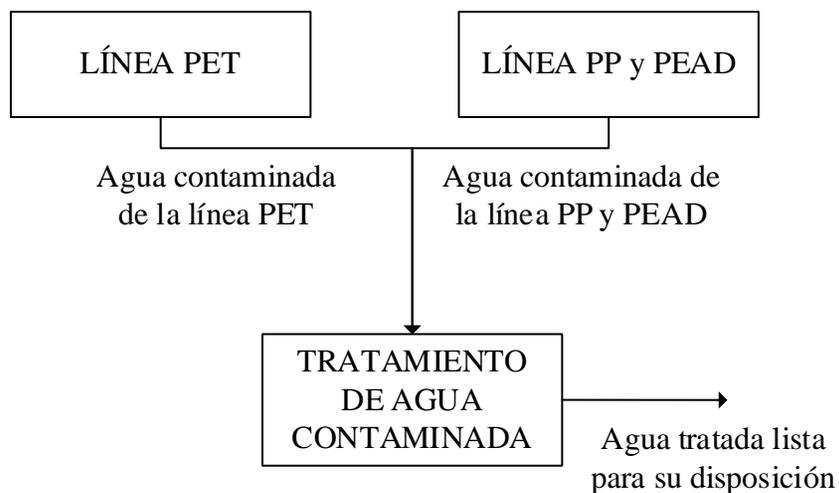
#### **Tratamiento aplicado:**

- Filtro de malla/sedimentador.
- Tanque de neutralización (ajuste de pH por soda cáustica).
- Tanque de decantación de sólidos.
- Tanque de almacenamiento.
- Sistema de bombeo.

(Ministerio del Ambiente, 2021a)

**Figura 33**

*Diagrama de la etapa de tratamiento de agua contaminada*

**Tabla 79**

*Costo de la Implementación del sistema de tratamiento de agua contaminada*

<b>Equipo</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Filtro de malla/sedimentador	205.00
Tanque de neutralización	7,400.00
Tanque de sedimentación	5,550.00
Tanque de almacenamiento	2,220.00
Sistema de bombeo	749.00
<b>Total</b>	<b>16,124.00</b>

*Fuente: Adaptado de (Ministerio del Ambiente, 2021c)*

### **5.3.2. Plan de mitigación para el suelo**

La gestión de los residuos generados en la planta será delegada a una empresa externa especializada. Para ello, se asignará un presupuesto destinado al servicio de disposición de desechos, cuyo costo es de S/ 0.99 por kilogramo. Empresas como JMC, que operan en la región

de Cusco, ofrecen este tipo de servicio de manera regular (JMC, 2024), costos detallados en la Tabla N° 80.

**Tabla 80**

*Costo de la Implementación del sistema de tratamiento de suelos*

<b>Línea</b>	<b>Contaminante (kg)</b>	<b>Precio (S/ kg)</b>	<b>Total (S/.)</b>
<b>PET</b>	89.00	0.99	88.11
<b>PP</b>	17.06	0.99	16.89
<b>PEAD</b>	55.21	0.99	54.66
			159.66

*Fuente: Adaptado de (JMC, 2024)*

### 5.3.1. Plan de mitigación para el aire

Con el fin de garantizar condiciones seguras de operación y mitigar la emisión de partículas finas y microplásticos durante la etapa de molienda, se plantea la implementación de un sistema básico de control de emisiones. Este sistema considera un encapsulamiento de la máquina, extracción localizada de aire, separación y filtración progresiva de partículas, así como equipos de apoyo para la limpieza interna (*Keller Lufttechnik, 2017*).

#### **Descripción de equipos y etapas**

**Encapsulamiento metálico ligero:** estructura de cerramiento parcial que cubre la zona de operación del molino, reduciendo la dispersión de polvo al ambiente y facilitando la recolección mediante ductos de extracción.

**Extractor / ventilador:** equipo encargado de generar la succión de aire contaminado desde el encapsulamiento hacia el sistema de filtración, manteniendo una presión negativa que evita fugas al exterior.

**Separador inercial:** dispositivo que remueve las partículas más gruesas del flujo de aire mediante cambios bruscos de dirección, disminuyendo la carga de polvo que llega a las etapas posteriores de filtración.

**Filtro cartridge / unidad compacta:** sistema de filtración de mediana eficiencia que retiene partículas finas mediante cartuchos filtrantes de superficie plisada, optimizando el flujo de aire.

**Filtro HEPA compacto:** etapa de filtración final de alta eficiencia (H13/H14) que captura hasta el 99.95% de partículas menores a 0,3 micras, asegurando un aire limpio antes de su descarga al ambiente.

**Ductería ligera:** conjunto de tuberías y conexiones (PVC o metálicas) que transportan el aire desde el encapsulamiento hasta las diferentes etapas de filtración.

**Instrumentos y accesorios:** elementos de soporte como sensores, manómetros diferenciales, abrazaderas y válvulas, necesarios para el correcto funcionamiento y control del sistema.

**Aspiradora HEPA:** equipo portátil para la limpieza de áreas internas y externas de la planta, evitando la acumulación de microplásticos en superficies y pisos.

**Instalación simple:** trabajos de montaje y conexión de los equipos, incluyendo fijación de estructuras, acoples de ductería y puesta en servicio básica, sin automatización avanzada.

#### **5.3.1.1. Costo de la Implementación del Sistema**

Se considera un encapsulamiento metálico ligero (2 sets) con un costo unitario de USD 7,500.00, alcanzando un total de USD 15,000.00 (S/ 52,500.00). Asimismo, se incluyen extractores/ventiladores (2 unidades) con un costo unitario de USD 3,250.00, sumando USD 6,500.00 (S/ 22,750.00). En cuanto al sistema de filtración, se proyecta la instalación de

separadores inerciales (2 unidades) valorizados en USD 1,400.00 cada uno, con un total de USD 2,800.00 (S/ 9,800.00); además, se contemplan filtros cartridge o unidades compactas (2 unidades) a un costo de USD 3,600.00 cada una, sumando USD 7,200.00 (S/ 25,200.00). Adicionalmente, se instalarán filtros HEPA compactos (2 unidades) de USD 500.00 cada uno, con un total de USD 1,000.00 (S/ 3,500.00). Los costos de ductería ligera (2 lotes) ascienden a USD 1,000.00 (S/ 3,500.00), mientras que los instrumentos y accesorios (2 lotes) representan USD 800.00 (S/ 2,800.00). Se incorporarán también aspiradoras con filtro HEPA (2 unidades) de USD 750.00 cada una, alcanzando USD 1,500.00 (S/ 5,250.00). Finalmente, se considera la instalación simple del sistema (2 lotes), con un costo de USD 1,500.00 (S/ 5,250.00).

En total, la inversión estimada para este plan de mitigación asciende a USD 37,300.00, equivalente aproximadamente a S/ 130,550.00.

#### **5.3.1.2. Justificación de la Implementación del sistema**

La implementación del sistema de encapsulamiento, extracción localizada y filtración de aire para mitigar la dispersión de partículas finas y microplásticos generados en la etapa de molienda no representa una inversión adicional a los costos ya establecidos del proyecto. Este sistema ha sido considerado dentro de la categoría de gastos imprevistos del estudio de inversión, lo cual permite su incorporación sin alterar el monto total del presupuesto ni comprometer la rentabilidad proyectada. De esta manera, se asegura el cumplimiento de los estándares ambientales y de seguridad ocupacional, a la vez que se garantiza la sostenibilidad operativa de la planta.

## **Capítulo VI. Estudio legal y normativo**

La implementación de una planta de reciclaje en el Perú exige el cumplimiento riguroso de las normativas legales tanto a nivel nacional como internacional. Este estudio contempla los aspectos fundamentales que regulan la actividad de reciclaje, haciendo énfasis en el cumplimiento normativo, los permisos y licencias requeridas; así como, las consideraciones de seguridad industrial que deben garantizarse en todas las fases del proyecto.

### **6.1. Cumplimiento de regulaciones locales e internacionales.**

El cumplimiento normativo es un componente esencial para garantizar la viabilidad legal, ambiental y social de un proyecto de reciclaje como el planteado en San Sebastián, Cusco. Este cumplimiento no solo implica adherirse a la legislación nacional, sino también considerar los acuerdos y buenas prácticas internacionales que aseguran una gestión ambientalmente adecuada de los residuos plásticos.

#### ***6.1.1. Normativa Nacional***

El marco legal peruano cuenta con un conjunto de leyes y reglamentos diseñados para asegurar que las actividades de gestión de residuos sólidos, incluyendo el reciclaje de PET, PP y PEAD, se realicen en armonía con el medio ambiente y la salud pública:

➤ **Ley N.º 28611 - Ley General del Ambiente**

Establece los principios básicos del derecho ambiental en el Perú, tales como el principio de prevención, sostenibilidad, responsabilidad ambiental y el principio de "quien contamina paga". Obliga a todas las actividades productivas a prevenir, mitigar y corregir impactos negativos sobre

el ambiente, promoviendo el uso de tecnologías limpias y eficiencia en el uso de recursos naturales (CONGRESO DE LA REPUBLICA, 2005).

➤ **Ley General de Residuos Sólidos (D.S. N.º 1278-MINAM)**

Regula la gestión integral de los residuos sólidos en todas sus etapas (generación, recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento, valorización y disposición final). Promueve la valorización mediante el reciclaje y reutilización. Define la responsabilidad extendida del generador, la formalización de operadores de residuos y el control del ciclo de vida del residuo. Este proyecto se clasifica como una actividad de valorización de residuos no peligrosos, por lo que debe cumplir con los requisitos establecidos en el Reglamento (Ministerio del Ambiente, 2017c).

➤ **Ley N.º 29316 - Ley de Promoción del Reciclaje**

Fomenta el desarrollo de la cadena de reciclaje formal en el país, otorgando incentivos para la inversión en tecnologías limpias y simplificando procedimientos administrativos. Esta norma también promueve la inclusión de recicladores formales en las actividades empresariales (Diario Oficial El Peruano, 2009).

➤ **Decreto Supremo N.º 014-2024-MINAM**

Establece la estructura del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (SNGA) y designa al Ministerio del Ambiente (MINAM) como ente rector en materia ambiental. Garantiza la coordinación multisectorial entre los distintos niveles de gobierno y sectores económicos involucrados en la gestión ambiental (Ministerio del Ambiente, 2024a).

➤ **Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM – Estándares de Calidad Ambiental (ECA)**

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para agua, suelo y aire. El cumplimiento de los ECA es obligatorio para toda actividad que pueda generar emisiones, vertimientos o residuos, como en el caso del lavado de plásticos (Ministerio del Ambiente, 2024a).

**6.1.2. Normativas Locales (Cusco y San Sebastián)**

➤ **Plan de Desarrollo Concertado de San Sebastián y Zonificación**

El uso de suelo debe ser compatible con actividades industriales. El proyecto debe verificarse frente a la zonificación del distrito para asegurar su ubicación en áreas permitidas (Municipalidad Distrital de San Sebastián., 2023).

➤ **Ordenanza Municipal N° 025-2019-MDSS**

Esta ordenanza regula la gestión integral de los residuos sólidos en el distrito de San Sebastián. Establece disposiciones para la segregación en la fuente, recolección selectiva, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos. Además, promueve la participación ciudadana y la formalización de recicladores (Municipalidad Distrital de San Sebastián, 2019b).

➤ **Ordenanza Municipal N° 024-2019-MDSS**

Establece medidas para la disminución progresiva del uso de plástico de un solo uso y recipientes o envases descartables en la jurisdicción del distrito, en concordancia con la Ley N° 30884. Fomenta el uso de materiales reutilizables y biodegradables (Municipalidad Distrital de San Sebastián, 2019a).

➤ **Decreto de Alcaldía N° 001-2024-AL-MDSS**

Dispone el cumplimiento del "Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Municipales". Este programa tiene como objetivo mejorar la gestión de residuos mediante la participación activa de la comunidad en la separación de residuos desde su origen (Municipalidad Distrital de San Sebastián, 2024).

**6.1.3. Normativas Internacionales**

Perú es parte de diversos acuerdos y convenios internacionales que regulan la gestión de residuos:

➤ **ODS de la Agenda 2030 de Naciones Unidas**

Este proyecto contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial:

ODS 12: Producción y consumo responsables.

Promueve la economía circular y la valorización de residuos plásticos.

ODS 13: Acción por el clima.

Al reducir residuos y fomentar el reciclaje, se disminuye la huella de carbono y el uso de recursos vírgenes.

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura.

La implementación de una planta recicladora implica innovación tecnológica y desarrollo de infraestructura sostenible (Naciones Unidas., n.d.).

➤ **ISO 14001:2015 – Sistemas de Gestión Ambiental**

Aunque no obligatoria, esta norma internacional puede servir como modelo de referencia para estructurar el sistema de gestión ambiental de la planta, asegurando la mejora continua en los procesos y reduciendo los riesgos ambientales (International Organization for Standardization (ISO), 2015).

**6.2. Permisos y licencias requeridas.**

Para el funcionamiento legal de la planta en San Sebastián, Cusco, es necesario gestionar los siguientes permisos y licencias ante las autoridades correspondientes:

**Licencia Municipal de Funcionamiento**, otorgada por la Municipalidad Distrital de San Sebastián.

**Registro como Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EORS)**, ante la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos del MINAM, según lo estipulado en el D.S. N.º 014-2017-MINAM (Ministerio del Ambiente, 2017b).

**Licencia Ambiental o Declaración de Impacto Ambiental (DIA)**, exigida por el MINAM a través de la Autoridad Regional Ambiental (ARA-Cusco), conforme al D.S. N.º 019-2009-MINAM-Reglamento del SEIA (Ministerio del Ambiente, 2009).

**Certificado de Inspección Técnica de Seguridad en Edificaciones (ITSE)**, emitido por el municipio distrital, autoriza el desarrollo de actividades comerciales o industriales en un local determinado.

**Autorización Sanitaria (DIGESA)**, en caso se manipulen residuos que puedan representar riesgo a la salud pública.

**Registro en el REMC** (Registro de Empresas Comercializadoras y/o Transformadoras de Material Reciclable) para formalizar la actividad.

**Registro Único de Contribuyentes (RUC)**, Trámite obligatorio ante la SUNAT, necesario para operar formalmente como empresa.

**Licencia de Uso de Agua (si aplica)**, Si el proceso de reciclaje involucra lavado de materiales plásticos, se requerirá autorización de uso de agua otorgada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) (Congreso de la República del Perú, 2009).

### **6.3. Consideraciones de seguridad industrial.**

La seguridad industrial es un aspecto clave en el diseño, implementación y operación de una planta recicladora de plásticos, debido a los riesgos inherentes asociados al manejo de maquinaria, almacenamiento de materiales, electricidad y posibles incendios. Estas consideraciones buscan proteger la vida, la salud y la integridad de los trabajadores; así como, prevenir daños a las instalaciones y al medio ambiente.

➤ **La Ley N.º 29783 – Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo**

Establece que los empleadores deben implementar sistemas para identificar y controlar riesgos laborales, garantizando la seguridad y salud de los trabajadores mediante una cultura preventiva (Congreso de la República del Perú, 2011).

➤ **Cumplimiento del Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo (D.S. N.º 005-2012-TR)**

Que exige la implementación de un sistema de gestión de seguridad, capacitaciones continuas, uso de equipos de protección personal (EPP) y vigilancia médica ocupacional (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo., 2012).

➤ **Las Normas Técnicas Peruanas NTP 399.010-1:2016 y NTP 399.010-2:2016**

Regulan la selección y uso de EPP y la señalización de seguridad para alertar y proteger a los trabajadores (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2016).

➤ **El Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica G.050**

Establece requisitos para la prevención de incendios, como rutas de evacuación y equipos contra incendios, para salvaguardar la integridad física en las instalaciones (Ministerio de Vivienda, n.d.).

➤ **Decreto Supremo N.º 058-2014-PCM**

Regula las inspecciones técnicas de seguridad en edificaciones, garantizando el cumplimiento de normas que evitan riesgos estructurales y emergencias (PCM, 2014).

➤ **Seguros contra riesgos laborales y planes de emergencia y evacuación**  
conforme a la Ley N.º 29783 (Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo., 2012).

## **Capítulo VII. Inversiones y financiamiento**

### **7.1. Inversiones en activos fijos tangibles.**

Las inversiones en activos fijos tangibles son aquellas que se realizan en bienes materiales que tienen una vida útil superior a un año y son esenciales para el funcionamiento del proceso productivo. En el caso de la producción de hojuelas de plástico a partir de plásticos domésticos reciclados, las principales inversiones se concentran en la adquisición de terreno, la construcción de infraestructura, la instalación de maquinaria y equipos, y los equipos de transporte.

#### **7.1.1. Terreno**

El terreno es una inversión inicial esencial para el proyecto, ya que proporciona el espacio necesario para la instalación de la planta de producción y las áreas complementarias. Como resultado del análisis de localización presentado en el capítulo 3 del presente estudio, se determinó que el distrito de San Sebastián, ubicado en la provincia de Cusco, representa la mejor alternativa para la instalación de la planta recicladora de plástico, siendo importante considerar tanto la compra o arrendamiento como los gastos adicionales en concepto de permisos y registros (Sapag Chain, 2021).

#### **Estimación el costo del terreno en San Sebastián**

Según el último reporte del portal inmobiliario Urbania y datos del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2024).

Precio promedio del m<sup>2</sup> de terreno industrial en San Sebastián – Cusco (zona urbana): Entre S/ 800 y S/ 1,200 por m<sup>2</sup>, dependiendo del acceso y servicios (Inmobiliaria Cusco, 2024).

Para este caso utilizaremos un precio promedio de S/.1000 por m<sup>2</sup>.

### 7.1.1.1. Lugar tentativo para la implementación de la planta recicladora

Como se muestra en la Figura N° 34, la planta recicladora propuesta tiene como lugar tentativo en calle Santutis Grande Churucanopata S/N, San Sebastián, Cusco; referencia: al término del aeropuerto, una cuadra de la Vía Expresa, para su implementación en la provincia del Cusco

**Figura 34**

*Lugar Tentativo para la implementación de la planta recicladora*



**Coordenadas:** -13.53590918175733, -71.91568728343526

**Tabla 81**

*Costo de Terreno en San Sebastián (para 1,000 m<sup>2</sup>)*

Concepto	Área Estimada (m <sup>2</sup> )	Precio por m <sup>2</sup> (S./)	Costo Total (S./)
<b>Terreno en San Sebastián, Cusco</b>	1,000	1000	1,000,000

### 7.1.2. Construcción de infraestructura

Una vez adquirido el terreno, la siguiente inversión se centra en la construcción de la infraestructura de la planta. Esto incluye la edificación de las instalaciones físicas donde se procesarán los plásticos reciclados, así como las áreas administrativas y de almacenamiento. La construcción debe cumplir con las normativas locales y de seguridad industrial, además de estar diseñada para maximizar la eficiencia operativa y garantizar la seguridad en las operaciones diarias. Los costos asociados incluyen los materiales de construcción, la mano de obra, los permisos de construcción y otros gastos indirectos como los seguros y licencias (Ministerio del Ambiente del Perú, 2015).

**Tabla 82**

*Área estimada para cada zona funcional*

<b>Área funcional</b>	<b>Área estimada (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Área de recepción y pesaje</b>	50
<b>Zona de clasificación manual</b>	50
<b>Área de trituración y molienda</b>	80
<b>Área de lavado y secado</b>	80
<b>Área de separación por densidad</b>	40
<b>Área de almacenamiento de producto</b>	300
<b>Oficinas administrativas</b>	60
<b>Servicios higiénicos y comedor</b>	40
<b>Circulación, patios y maniobras</b>	300
<b>Total, estimado</b>	<b>850</b>

El costo de construcción de naves industriales especializadas oscila entre S/ 1,200 a S/ 1,800 por m<sup>2</sup>, dependiendo del tipo de estructura, ubicación y acabados. En base a ello, para este estudio se ha tomado un costo promedio de S/ 1,350 por m<sup>2</sup> para construcciones ligeras en zonas urbanas (Armada de Proyectos, 2025).

### Tabla 83

*Costo de construcción en San Sebastián*

Concepto	Área Estimada(m <sup>2</sup> )	Precio por m <sup>2</sup> (S/.)	Costo Total (S/.)
<b>Costo de construcción en San Sebastián</b>	1000	1,350	1,350,000.00

*Fuente:* (Armada de Proyectos, 2025)

Este monto considera:

- Estructura metálica y cobertura de techo.
- Piso industrial.
- Muros divisorios y cerramiento.
- Instalaciones eléctricas y sanitarias básicas.
- Iluminación industrial.

Además de la construcción de la nave operativa para el procesamiento de residuos plásticos, el diseño de la planta contempla la implementación de infraestructura complementaria indispensable para el funcionamiento integral de la instalación industrial. Esta comprende las oficinas administrativas, servicios higiénicos para el personal, vestuarios, obras exteriores, y la instalación de servicios básicos como agua, desagüe y energía eléctrica (Paredes Anahua, 2024).

**Tabla 84***Costo de la implementación de la infraestructura*

<b>Concepto</b>	<b>Monto estimado (S/.)</b>
Construcción de planta (obra civil)	1,350,000.00
Oficinas, comedor, SS. HH	200,000.00
Instalaciones eléctricas (10%)	100,000.00
Sistema de agua y desagüe (6%)	120,000.00
Obras exteriores y seguridad (12%)	60,000.00
Supervisión, permisos, gastos generales (8%)	108,000.00
<b>Total, estimado</b>	<b>1,938,000.00</b>

**7.1.3. Instalación y montaje de maquinarias y equipos**

La instalación y montaje de maquinaria es una de las principales inversiones en activos fijos tangibles. La maquinaria necesaria para la producción de hojuelas de plástico incluye extrusoras, prensas compactadoras, y equipos de clasificación. Además de la compra de estas máquinas, se debe considerar el costo de instalación y puesta en marcha de los equipos, que incluye el personal técnico para su instalación, la conexión a los sistemas de agua y energía, y la capacitación del personal para su operación. La maquinaria debe ser de alta eficiencia para garantizar la calidad del producto final y la rentabilidad de la operación.

El costo estimado se basa en el estándar del 7% del valor total de las maquinarias. Esta cifra se sustenta en estudios técnicos de plantas similares de pequeña y mediana escala (Sarria,

2021) (United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2010) Este porcentaje considera los siguientes conceptos:

- Descarga y ubicación de los equipos en el lugar de operación.
- Montaje estructural y mecánico.
- Instalación eléctrica de motores y controles.
- Anclajes y cimentación menor.
- Supervisión técnica especializada.
- Pruebas de funcionamiento y calibración.

El costo total de las maquinarias, se subdividen en las dos líneas de operación, para la línea PET, y la línea de PP y PEAD, mostrados en las Tablas N° 85 y 86, respectivamente; así como, el costo total de maquinaria, que resulta de adicionar ambas líneas, mostrado en la Tabla N° 87.

**Tabla 85**

*Costo de maquinaria para la línea de PET*

<b>Maquinaria PET</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (S/)</b>	<b>Precio Total (S/)</b>
<b>Transportadora de Banda</b>	2	2,000.00	4,000.00
<b>Trommel</b>	1	8,600.00	8,600.00
<b>Saca etiquetas</b>	1	7,600.00	7,600.00
<b>Mesa de clasificación manual</b>	1	2,100.00	2,100.00
<b>Molino</b>	1	13,600.00	13,600.00
<b>Tornillo</b>	3	3,000.00	9,000.00
<b>Lavadora en caliente</b>	1	7,400.00	7,400.00
<b>Enjuague</b>	1	4,500.00	4,500.00
<b>Separación por densidad</b>	1	8,600.00	8,600.00
<b>Secado por aire caliente</b>	1	3,000.00	3,000.00
<b>Almacenamiento en tolva</b>	1	1,400.00	1,400.00
<b>sistema de control eléctrico</b>	1	7,000.00	7,000.00
<b>Maquina afiladora de cuchillos</b>	1	1,500.00	1,500.00
<b>Total, estimado</b>			<b>78,300.00</b>

**Tabla 86***Costo de maquinaria para la línea de PP y PEAD*

<b>Maquinaria PP y PEAD</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (S/)</b>	<b>Precio Total (S/)</b>
<b>Transportadora de Banda</b>	2	2,000.00	4,000.00
<b>Mesa de clasificación manual</b>	1	2,100.00	2,100.00
<b>Molino</b>	1	13,600.00	13,600.00
<b>Tornillo</b>	3	3,000.00	6,000.00
<b>Lavadora en caliente</b>	1	7,400.00	7,400.00
<b>Enjuague</b>	1	4,500.00	4,500.00
<b>Secado por aire caliente</b>	1	3,000.00	3,000.00
<b>Almacenamiento en tolva</b>	1	1,400.00	1,400.00
<b>sistema de control eléctrico</b>	1	7,000.00	7,000.00
<b>Maquina afiladora de cuchillos</b>	1	1,500.00	1,500.00
<b>Total, estimado</b>			<b>50,500.00</b>

➤ **Costo de envío de maquinaria**

Considerando el costo de envío del total de maquinarias, tanto para la línea PET y PEAD, igual a 10000 USD, y el precio de cambio de dólar como, 1 dólar es a 3.56 nuevos soles

**Tabla 87***Costo total de la maquinaria*

<b>Detalle</b>	<b>Precio (S/)</b>
Maquinaria PET	78,300.00
Maquinaria PP y PEAD	50,500.00
Total, costo maquinaria	128,800.00
Costo de envío	35,600.00
Total, estimado, compra y envío de maquinaria	<b>164,400.00</b>

**Tabla 88***Costo total de instalación y montaje de la maquinaria*

<b>Costo total de la maquinaria</b>	<b>Porcentaje para instalación</b>	<b>Costo estimado de instalación y montaje</b>
S/ 128,800.00	7%	S/ 9,016.00

**7.1.4. Equipos de transporte**

El sistema de transporte es un componente esencial en la operatividad de la planta recicladora, ya que permite el traslado eficiente de los residuos plásticos desde los puntos de acopio domiciliario y municipal hacia la planta, así como el posterior envío de las hojuelas de PET, PEAD y PP procesadas hacia los centros de comercialización o clientes industriales. Esta inversión incluye camiones de carga, grúas, y otros vehículos de transporte necesarios. Además de la compra de estos equipos, se debe considerar el costo asociado con el mantenimiento, seguro vehicular, combustible mensual, documentación y permisos de tránsito y otros gastos operativos relacionados con la logística de transporte.

**Tabla 89***Costo de equipos de transporte*

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (S/) *</b>	<b>Subtotal (S/)</b>
<b>Camiones recolectores (5 m<sup>3</sup>)</b>	8	110,000	880,000
<b>Minivan operativa (opcional)</b>	1	65,000	65,000
<b>Subtotal de inversión</b>	—	—	945,000
<b>10% costos logísticos iniciales (GPS, seguro, mantenimiento)</b>	—	—	94,500
<b>Total, estimado</b>	—	—	<b>S/ 1,039,500.00</b>

Esta inversión permite garantizar una operación eficiente, sostenible y bien estructurada en lo que respecta al transporte de insumos y productos. Los valores referenciales han sido tomados

del mercado nacional actual (2024), considerando marcas disponibles en el país como JAC, Foton, Hyundai y DFSK (Autofact Perú, 2024; Derco Perú, 2024; DFSK Perú, 2024; Hyundai Perú, 2024; Redson Perú, 2024).

#### ***7.1.5. Mobiliario y equipos de oficina***

El mobiliario y los equipos de oficina son una inversión esencial para las áreas administrativas de la planta. Estos activos incluyen escritorios, sillas, archivadores, computadoras, sistemas de comunicación, impresoras y otros equipos necesarios para el funcionamiento de las oficinas. Su correcta implementación permite llevar a cabo las funciones administrativas, contables, logísticas, y de coordinación institucional de manera eficaz.

En la Tabla N° 90, se presenta una estimación de los requerimientos básicos para un área administrativa de una planta de tamaño mediano(Sodimac Perú, 2024).

Los costos han sido estimados considerando proveedores locales y tiendas especializadas en mobiliario y equipos de oficina en Cusco y Lima (como Promart, Maestro, y Sodimac) (Maestro, 2024; Promart Homecenter., 2024; Sodimac Perú, 2024)

Esta inversión garantiza un entorno de trabajo adecuado y funcional para el personal administrativo, contribuyendo con la eficiencia en la toma de decisiones, la atención al cliente y el cumplimiento de las normativas contables y legales vigentes.

**Tabla 90***Costo de mobiliario y equipos de oficina*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (S/)</b>	<b>Subtotal (S/)</b>
Escritorios (gerencia y operativos)	4	700	2,800.00
Sillas ergonómicas	6	400	2,400.00
Archivadores metálicos	2	500	1,000.00
Estanterías	2	400	800.00
Computadoras (de escritorio)	3	2,500	7,500.00
Impresora multifuncional	1	1,500	1,500.00
Teléfonos IP / comunicación interna	2	300	600.00
Aire acondicionado / ventilación	1	2,000	2,000.00
Otros accesorios (lámparas, UPS)			1,500.00
<b>Total, estimado</b>			<b>20,100.00</b>

*Fuente: (Sodimac Perú, 2024)***7.2. Inversiones en activos fijos intangibles**

Las inversiones en activos fijos intangibles abarcan todos aquellos desembolsos necesarios para respaldar legal, técnica y administrativamente la ejecución del proyecto, sin representar bienes físicos. Comprenden principalmente los costos de organización, asesorías especializadas, licencias, registros, intereses generados en el periodo de construcción y provisiones para imprevistos. Estas inversiones permiten asegurar la viabilidad operativa, el cumplimiento normativo y la optimización de la gestión desde el inicio de las actividades, constituyéndose en un soporte fundamental para la sostenibilidad a largo plazo del proyecto (Sapag Chain et al., 2021).

### ***7.2.1. Costos de Organización del Proyecto, patentes y similares***

Comprende los gastos incurridos en la constitución legal de la empresa, obtención de permisos de funcionamiento, registro de la marca comercial y, en su caso, patentes relacionadas a innovaciones en procesos de reciclaje. Estos costos son fundamentales para garantizar la formalización y protección de la actividad económica (Bejar Sanchez, 2019).

### ***7.2.2. Costo de Ingeniería y administración de la instalación***

Incluye el diseño técnico de la planta, ingeniería de procesos, supervisión de obra y planificación administrativa del montaje de la instalación. Se consideran los honorarios de ingenieros especializados en reciclaje de plásticos, así como los costos de gestión de la obra (Bejar Sanchez, 2019).

### ***7.2.3. Intereses durante la construcción***

Corresponden a los intereses financieros derivados de préstamos obtenidos para la ejecución del proyecto, acumulados durante el periodo en el que la planta aún no genera ingresos (fase de construcción y puesta en marcha) (Sapag Chain et al., 2021).

### ***7.2.4. Imprevistos***

Se contempla un porcentaje adicional sobre la inversión total (entre 5% y 10%) para cubrir eventos no previstos, como cambios en los costos de materiales, retrasos en obras, o necesidad de equipamiento adicional (Sapag Chain et al., 2021).

**Tabla 91***Inversión de activos fijos intangibles*

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Monto estimado (USD)</b>	<b>Monto estimado (s/)</b>
Costos de Organización del Proyecto, patentes y similares	Constitución de empresa, permisos, registro de marca/patentes	825.25	3,088.96
Costo de Ingeniería y administración de la instalación, estudio de la pre factibilidad	Diseño de planta, supervisión técnica, planificación de obra	38,820.00	145,305.52
Intereses durante la construcción	Intereses generados en periodo de construcción	6,940.00	25,976.82
Imprevistos	Reserva para gastos no previstos (5-10% inversión total)		253,884.02
<b>Total, Inversión Fija Intangible</b>		<b>46,585.25</b>	<b>428,255.33</b>

*Fuentes: Sapag Chain et al., (2021)*

Se consideró una tasa de cambio de 1 dólar equivalente a 3.743 soles, se tomó ese valor resultado de promediar la tasa de cambio anualmente desde el 2013 al 2024, para efectos de conversión de unidades monetarias.

La Tabla N° 91 muestra que, en primer lugar, los costos de organización del proyecto, patentes y similares, que incluyen gastos como la constitución legal de la empresa, obtención de

permisos municipales, registros ante entidades gubernamentales y el registro de marca o patentes. Este concepto ha sido estimado en 825.25 dólares americanos, lo que equivale a 3,088.96 soles.

En segundo lugar, se contempla el costo de ingeniería y administración de la instalación, que abarca el diseño de la planta, la supervisión técnica y la planificación de las obras necesarias para implementar el proyecto. Este gasto es uno de los más representativos dentro de la inversión intangible, con un monto estimado de 38,820.00 dólares (145,305.52 soles).

Asimismo, se han considerado los intereses durante la construcción, que corresponden a los costos financieros generados durante el periodo en que la planta está siendo implementada pero aún no inicia operaciones. Este concepto asciende a 6,940.00 dólares (25,976.82 soles).

Por otro lado, se ha dejado un espacio pendiente para incluir el concepto de imprevistos, que corresponde a una reserva destinada a cubrir gastos no previstos en la etapa de inversión. Esta categoría suele estimarse entre un 5% y un 10% del total de la inversión intangible.

### **7.3. Capital de trabajo**

El capital de trabajo o inversión en activos circulantes corresponde a los recursos necesarios para financiar la operación inicial del proyecto hasta que genere ingresos suficientes de manera sostenida, que, para el presente trabajo, abarca 4 meses de proyección para el cálculo de Capital de trabajo. Incluye la adquisición de insumos, materias primas, inventarios, gastos operativos corrientes (como sueldos, servicios básicos, transporte) y caja mínima para emergencias.

Estos recursos garantizan que la planta de reciclaje de PET, PP y PEAD pueda funcionar de manera continua y eficiente desde su puesta en marcha, cubriendo las necesidades de liquidez en el corto plazo (Sapag Chain et al., 2021).

El estudio ha definido un periodo de 4 meses para el cálculo del capital de trabajo, con el propósito de garantizar la operatividad continua de la planta durante su fase inicial, cuando el ciclo de cobro aún no se ha estabilizado.

El trabajo de investigación Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2025), señala que el capital de trabajo debe cubrir entre 3 y 6 meses de operación, según la duración del ciclo operativo y el tiempo que tarda el proyecto en generar ingresos consistentes . Este rango permite asegurarse de que hay liquidez suficiente para sostener los costos fijos y variables mientras se establece el flujo de caja.

**Tabla 92**

*Capital de Trabajo*

<b>Capital de Trabajo (4 meses)</b>	<b>Costo (S/.)</b>
Sacos	9,814.00
Detergente	98,040.06
Soda caústica	26,525.39
Mano de obra directa	119,328.00
Mano de obra indirecta	74,800.00
Energía eléctrica de proceso	36,398.74
Energía eléctrica zona administrativa	29,185.64
Agua de proceso	287,283.23
Agua y desagüe zona administrativa	3,329.24
Combustible	39,940.66
Transporte	5,313.80
Telefonía e Internet	934.32
Útiles de escritorio	600.00
Publicidad y marketing	800.00
<b>Total, Capital de Trabajo</b>	<b>732,293.08</b>

Al elegir 4 meses, el proyecto se posiciona en un punto medio dentro del rango recomendado, lo que:

- Asegura recursos para cubrir insumos, servicios, mano de obra, transporte y otros gastos operativos.
- Considera la curva de aprendizaje y posibles demoras en la generación de ingresos.
- Reduce el riesgo financiero sin tener un exceso de capital inmovilizado.

### ***7.3.1. Inversión para Recolección de Materia Prima (MP)***

La inversión destinada a la recolección de materia prima considera los recursos necesarios para asegurar el abastecimiento inicial de plásticos reciclables (PET, PP y PEAD) a través de la recolección domiciliaria.

Incluye principalmente los costos asociados al transporte, como vehículos, combustible y mantenimiento; así como, los sueldos del personal encargado de las rutas de recolección. Esta inversión resulta esencial para garantizar la disponibilidad continua de materiales desde el inicio de las operaciones, optimizando los procesos de abastecimiento sin depender de proveedores externos (Sapag Chain et al., 2021).

### ***7.3.2. Insumos y Materiales Auxiliares***

Comprende todos los consumibles necesarios para el proceso de reciclaje, tales como detergentes industriales para lavado, agua de proceso, lubricantes para maquinaria, empaques y otros materiales de operación diaria. Estos insumos son indispensables para garantizar un proceso de transformación eficiente y de alta calidad (Sapag Chain et al., 2021).

### **7.3.3. Sueldos y Salarios**

Incluye la previsión para cubrir los pagos al personal operativo, administrativo y de mantenimiento durante los primeros meses de operación, en los que los ingresos aún pueden ser inestables. Este rubro busca garantizar la estabilidad laboral y el correcto funcionamiento de la planta desde su puesta en marcha (Bejar Sanchez, 2019).

#### **7.3.3.1. Mano de Obra Directa e Indirecta**

En el proyecto, la mano de obra ha sido clasificada en directa e indirecta según su participación en el proceso productivo.

La mano de obra directa está conformada por el personal que interviene directamente en las actividades operativas del reciclaje de plásticos, como la recolección, clasificación, molienda, lavado, secado y envasado. Estas funciones están orientadas a la transformación física del material reciclable, por lo tanto, su aporte tiene un impacto directo en la producción.

Por su parte, la mano de obra indirecta está compuesta por trabajadores que cumplen funciones de gestión, supervisión, apoyo administrativo y servicios generales. Aunque no participan directamente en la transformación del material, su labor es fundamental para asegurar el funcionamiento eficiente y ordenado del proyecto.

En total, se contempla un equipo de 47 personas, de las cuales 35 corresponden a mano de obra directa y 12 a mano de obra indirecta, detalladas en la Tabla N° 93.

Tabla 93

*Mano de Obra Directa e Indirecta*

Mano de obra directa		Mano de obra indirecta	
Proceso/actividad	N° de trabajadores	Puesto	N° de trabajadores
<b>Recolección de Materia Prima</b>		<b>Área administrativa</b>	
Conductores	8	Gerente general	1
Personal de recojo	16	Jefe del área de producción	1
<b>Proceso</b>		Jefe SSOMA	1
Clasificación Manual	6	Asistente SSOMA	1
Molienda	1	Jefe de finanzas	1
Lavado, Enjuague	2	Jefe comercial	1
Secado, Envasado	2	Asistente administrativo y de RRHH	1
		Asistente contable	1
		<b>Terceros</b>	
		Puesto de vigilancia	2
		Puesto de limpieza	2
<b>Total, de M.O.D.</b>	<b>35</b>	<b>Total, de M.O.I.</b>	<b>12</b>
<b>Total (M.O.D. y M.O.I.)</b>			<b>47</b>

Para estimar adecuadamente el costo de la mano de obra en el proyecto, se consideraron todos los componentes que conforman la remuneración mensual y anual de cada trabajador. A partir del sueldo base de cada puesto, se incluyeron los siguientes conceptos:

**Asignación familiar:** Se otorgó el 10% del sueldo mínimo vigente por ley a los trabajadores que califican para este beneficio.

**Fondo de pensiones (AFP):** Se consideró el descuento obligatorio del 10% para el fondo de pensiones, el 1.74% por seguro de invalidez y sobrevivencia, y el 1.25% por la comisión de la AFP. Estos conceptos representan un descuento directo al trabajador.

**Total, AFP:** Es la suma de los tres porcentajes mencionados, que se deduce de la remuneración mensual para determinar el saldo neto a pagar al trabajador.

**Aporte a EsSalud:** El empleador asume un aporte del 9% de la remuneración mensual por cada trabajador, destinado al seguro de salud.

**Beneficios sociales:** Se calcularon de manera proporcional los beneficios laborales como vacaciones (1 sueldo al año), CTS (Compensación por Tiempo de Servicios, equivalente a 1 sueldo anual dividido en dos depósitos semestrales) y gratificaciones (2 sueldos al año, uno en julio y otro en diciembre).

**Remuneración anual:** Se obtuvo sumando los 12 sueldos mensuales netos, más los beneficios sociales y aportes obligatorios, lo cual permite conocer el costo total anual de cada trabajador para el proyecto.

Este enfoque nos permitió estimar de manera realista el gasto total en personal, asegurando el cumplimiento de las obligaciones laborales y previsionales conforme a la legislación vigente, en las Tablas N° 94 y 95 se muestra en cantidades el salario, descuentos y bonos para cada puesto de trabajo.

Tabla 94

Salario del personal de Mano de Obra Directa

Detalle	Puesto de Trabajo - Mano de Obra Directa						TOTAL
	Recolección de Materia Prima			Proceso			
	Conductores	Personal de recojo	Clasificación Manual	Molienda	Lavado, Enjuague	Secado, Envasado	
<b>Sueldo (S/.)</b>	<b>1,130.00</b>	<b>1,130.00</b>	<b>1,130.00</b>	<b>1,130.00</b>	<b>1,130.00</b>	<b>1,130.00</b>	
<b>Cantidad de personal</b>	8	16	6	1	2	2	9
<b>Asignación familiar (10% sueldo mínimo) (S/.)</b>	904.00	1,808.00	678.00	113.00	226.00	226.00	2,712.00
<b>Remuneración mensual (S/.)</b>	9,944.00	19,888.00	7,458.00	1,243.00	2,486.00	2,486.00	29,832.00
<b>Fondo de pensiones 10% (S/.)</b>	994.40	1,988.80	745.80	124.30	248.60	248.60	2,983.20
<b>Seguro de invalidez y sobrevivencia 1.74% (S/.)</b>	173.03	346.05	129.77	21.63	43.26	43.26	519.08
<b>Comisión por administración 1.25% (S/.)</b>	124.30	248.60	93.23	15.54	31.08	31.08	372.90
<b>Total, AFP (S/.)</b>	1,291.73	2,583.45	968.79	161.47	322.93	322.93	3,875.18
<b>Saldo a pagar (S/.)</b>	8,652.27	17,304.55	6,489.21	1,081.53	2,163.07	2,163.07	25,956.82
<b>Aporte a ESSALUD 9% (S/.)</b>	894.96	1,789.92	671.22	111.87	223.74	223.74	2,684.88
<b>Vacaciones (S/.)</b>	1,130.00	1,130.00	1,130.00	1,130.00	1,130.00	1,130.00	2,260.00
<b>CTS (S/.)</b>	1,130.00	1,130.00	1,130.00	1,130.00	1,130.00	1,130.00	2,260.00
<b>Gratificaciones (S/.)</b>	1,231.70	1,231.70	1,231.70	1,231.70	1,231.70	1,231.70	2,463.40
<b>Remuneración anual (S/.)</b>	123,714.66	243,937.62	93,658.92	18,519.57	33,547.44	33,547.44	546,925.65

Tabla 95

Salario del personal de Mano de Obra Indirecta

Detalle	Puesto de Trabajo - Mano de Obra Indirecta										TOTAL	
	Área administrativa							Terceros				
	Gerente general	Jefe del área de producción	Jefe SSOMA	Asistente SSOMA	Jefe de finanzas	Jefe comercial	Asistente adm. y de RRHH	Asistente contable	Puesto de vigilancia	Puesto de limpieza		
<b>Sueldo (S/.)</b>	<b>10,000.00</b>	<b>7,000.00</b>	<b>5,000.00</b>	<b>2,000.00</b>	<b>2,000.00</b>	<b>2,000.00</b>	<b>2,000.00</b>	<b>2,000.00</b>	<b>2,000.00</b>	<b>1,130.00</b>	<b>1,130.00</b>	
<b>Cantidad de personal</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
<b>Asignación familiar (10% sueldo mínimo) (S/.)</b>	1,000.00	700.00	500.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	113.00	113.00	1,700.00
<b>Remuneración mensual (S/.)</b>	11,000.00	7,700.00	5,500.00	2,200.00	2,200.00	2,200.00	2,200.00	2,200.00	2,200.00	1,243.00	1,243.00	18,700.00
<b>Fondo de pensiones 10% (S/.)</b>	1,100.00	770.00	550.00	220.00	220.00	220.00	220.00	220.00	220.00	124.30	124.30	1,870.00
<b>Seguro de invalidez y sobrevivencia 1.74% (S/.)</b>	191.40	133.98	95.70	38.28	38.28	38.28	38.28	38.28	38.28	21.63	21.63	325.38
<b>Comisión por administración 1.25% (S/.)</b>	137.50	96.25	68.75	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50	15.54	15.54	233.75
<b>Total, AFP (S/.)</b>	1,428.90	1,000.23	714.45	285.78	285.78	285.78	285.78	285.78	285.78	161.47	161.47	2,429.13
<b>Saldo a pagar (S/.)</b>	9,571.10	6,699.77	4,785.55	1,914.22	1,914.22	1,914.22	1,914.22	1,914.22	1,914.22	1,081.53	1,081.53	16,270.87

<b>Aporte a ESSALUD 9% (S/.)</b>	990.00	693.00	495.00	198.00	198.00	198.00	198.00	198.00	111.87	111.87	1,683.00
<b>Vacaciones (S/.)</b>	10,000.00	7,000.00	5,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	1,130.00	1,130.00	17,000.00
<b>CTS (S/.)</b>	10,000.00	7,000.00	5,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	1,130.00	1,130.00	17,000.00
<b>Gratificaciones (S/.)</b>	10,900.00	7,630.00	5,450.00	2,180.00	2,180.00	2,180.00	2,180.00	2,180.00	1,231.70	1,231.70	18,530.00
<b>Remuneración anual (S/.)</b>	<b>163,890.00</b>	<b>114,723.00</b>	<b>81,945.00</b>	<b>32,778.00</b>	<b>32,778.00</b>	<b>32,778.00</b>	<b>32,778.00</b>	<b>32,778.00</b>	<b>18,519.57</b>	<b>18,519.57</b>	<b>561,487.14</b>

#### 7.3.4. Servicios Básicos

Representa los gastos asociados al consumo de electricidad, agua potable/industrial, comunicaciones y otros servicios esenciales para el funcionamiento de la planta de reciclaje. Estos servicios son críticos para operar las máquinas de trituración, lavado, secado y extrusión, así como para mantener la infraestructura de la planta (ICEX, 2023).

#### 7.4. Resumen de las Inversiones

En la Tabla N° 96, se muestra un cuadro resumen de las inversiones totales del proyecto.

**Tabla 96**

*Resumen de las Inversiones*

Ítem	Detalle	Costo Total (S/)	Porcentaje (%)
1	Inversiones en activos fijos tangibles	4,171,016.00	78.23%
2	Inversiones en activos fijos intangibles	428,255.33	8.03%
3	Capital de trabajo	732,293.08	13.74%
<b>Inversión Total (S/)</b>		<b>5,331,564.40</b>	

#### 7.5. Programa de inversión del proyecto

El programa de inversión proyectado para los primeros seis meses contempla tres grandes componentes: inversión fija tangible, inversión fija intangible y capital de trabajo, mostrado en la Tabla N° 97.

Este esquema de inversión está diseñado para asegurar el arranque eficiente y sostenido de las operaciones de la planta recicladora durante su fase inicial de implementación.

**Tabla 97***Programa de Inversión del proyecto*

Ítem	Detalle	Meses (S/.)						Total (S/.)
		1	2	3	4	5	6	
<b>1</b>	<b>Inversión Fija Tangible</b>							4,171,016.00
	Terreno	1,000,000.00						1,000,000.00
	Construcción	387,600.00	387,600.00	387,600.00	387,600.00	387,600.00		1,938,000.00
	Maquinaria			82,200.00	82,200.00			164,400.00
	Instalación y montaje				4,508.00	4,508.00		9,016.00
	Equipos de transporte					519,750.00	519,750.00	1,039,500.00
	Mobiliario						20,100.00	20,100.00
<b>2</b>	<b>Inversión Fija Intangible</b>							428,255.33
	Costos de Organización	3,088.96						3,088.96
	Costo de Ingeniería y administración	145,305.52						145,305.52
	Intereses durante la construcción						25,976.82	25,976.82
	Imprevistos (5%)	42,314.00	42,314.00	42,314.00	42,314.00	42,314.00	42,314.00	253,884.02
<b>3</b>	<b>Capital de trabajo</b>							732,293.08
	Sacos							9,814.00
	Detergente							98,040.06
	Soda cáustica							26,525.39
	Mano de obra directa							119,328.00
	Mano de obra indirecta							74,800.00
	Energía eléctrica de proceso							36,398.74
	Energía eléctrica zona administrativa							29,185.64
	Agua de proceso							287,283.23
	Agua y desagüe zona administrativa							3,329.24
	Combustible (GLP)							39,940.66
	Transporte							5,313.80
	Telefonía e Internet							934.32
	Útiles de escritorio							600.00
	Publicidad y marketing							800.00
<b>Inversión Total</b>								<b>5,331,564.40</b>

## **7.6. Plan de financiamiento**

El plan de financiamiento establece las estrategias para la obtención de los recursos necesarios para la ejecución del proyecto de reciclaje de plásticos PET, PP y PEAD. La estructura financiera propuesta contempla la participación de dos fuentes principales: aportes de los socios fundadores y créditos bancarios.

La inversión será cubierta de la siguiente forma:

**Aporte de socios:** Se estima que los socios financiarán el 60% de la inversión total. Este aporte será utilizado principalmente para la adquisición del terreno, gastos preliminares, y parte de los activos fijos.

**Crédito bancario:** El 40% restante será financiado mediante un crédito bancario, el cual permitirá financiar la compra de maquinaria, adecuaciones de planta y capital de trabajo inicial.

El crédito será gestionado bajo condiciones que prioricen una tasa de interés competitiva y plazos adecuados al flujo de caja proyectado del negocio.

Asimismo, se ha previsto un cronograma de desembolsos, que asegurará que los fondos estén disponibles en cada etapa crítica del proyecto, reduciendo así el riesgo de paralizaciones o costos financieros adicionales.

La distribución preliminar de las fuentes de financiamiento está mostrada en la Tabla N° 98.

### **7.6.1. Estructura de financiamiento**

Se realizó una cotización con el Banco de Crédito del Perú (BCP), con los siguientes puntos a considerar en la estructura de financiamiento:

**Tipo de crédito:** Crédito empresarial de mediano plazo.

Plazo estimado: 5 años.

Número de pagos por año: 12 (mensual)

Periodo de gracia: 6 meses

Tasa de interés (TEA): Aproximadamente 12% anual

Cuota inicial: 10% del Préstamo Total

Garantías: Hipoteca del terreno o prenda sobre maquinaria adquirida.

En la Tabla N° 99, se muestra la estructura del financiamiento según la estructura de la inversión considerando aporte de los socios (60% en total) y préstamo bancario (40%)

### 7.6.2. Servicio a la deuda

En el Apéndice N° 2 se detalla el resumen de pagos de préstamo bancario, teniendo el costo total del préstamo bancario S/.2,132,625.76, considerando los primeros 6 meses de gracia, préstamo realizado el 1 de junio de 2024, comenzando a pagar el mes de enero del 2025, el préstamo se terminaría de pagar el mes de diciembre del año 2029. El detalle de las amortizaciones anuales a realizar, se encuentra detallado en el Apéndice recientemente mencionado.

### Tabla 98

#### *Plan de Financiamiento*

<b>Detalle</b>	<b>Monto (s/)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Socio 1	1,599,469.32	30
Socio 2	1,599,469.32	30
Banco	2,132,625.76	40
<b>Total</b>	<b>5,331,564.40</b>	<b>100</b>

**Tabla 99***Estructura del financiamiento*

<b>Inversiones en activos fijos tangibles</b>	<b>Aporte socios (S/.) (40%)</b>	<b>Aporte bancario (S/.) (60%)</b>	<b>Total (S/.) (100%)</b>
Terreno	400,000.00	600,000.00	1,000,000.00
Construcción de infraestructura	775,200.00	1,162,800.00	1,938,000.00
Maquinaria	65,760.00	98,640.00	164,400.00
Instalación y montaje de maquinarias y equipos	3,606.40	5,409.60	9,016.00
Equipos de transporte	415,800.00	623,700.00	1,039,500.00
Mobiliario y equipos de oficina	8,040.00	12,060.00	20,100.00
<b>Inversiones en activos fijos intangibles</b>			
Costos de Organización del Proyecto, patentes y similares	1,235.58	1,853.38	3,088.96
Costo de Ingeniería y administración de la instalación, estudio de la pre factibilidad	58,122.21	87,183.31	145,305.52
Intereses durante la construcción	10,390.73	15,586.09	25,976.82
Imprevistos	101,553.61	152,330.41	253,884.02
<b>Capital de Trabajo (4 meses)</b>			
Sacos	3,925.60	5,888.40	9,814.00
Detergente	39,216.02	58,824.04	98,040.06
Soda caústica	10,610.15	15,915.23	26,525.39
Mano de obra directa	47,731.20	71,596.80	119,328.00
Mano de obra indirecta	29,920.00	44,880.00	74,800.00
Energía eléctrica de proceso	14,559.50	21,839.24	36,398.74
Energía eléctrica zona administrativa	11,674.26	17,511.38	29,185.64
Agua de proceso	114,913.29	172,369.94	287,283.23
Agua y desagüe zona administrativa	1,331.70	1,997.54	3,329.24
Combustible	15,976.26	23,964.40	39,940.66
Transporte	2,125.52	3,188.28	5,313.80
Telefonía e Internet	373.73	560.59	934.32
Útiles de escritorio	240.00	360.00	600.00
Publicidad y marketing	320.00	480.00	800.00
<b>Total (s/)</b>	<b>2,132,625.76</b>	<b>3,198,938.64</b>	<b>5,331,564.40</b>

## **Capítulo VIII. Presupuesto de gastos e ingresos del proyecto**

En este capítulo, presentamos el presupuesto detallado de los gastos e ingresos del proyecto de reciclaje de plásticos PET, PP y PEAD. El presupuesto nos permite anticipar las necesidades financieras a lo largo de la implementación del proyecto y garantizar que contemos con los recursos necesarios para cubrir todas las fases operativas. Este análisis es clave para evaluar la viabilidad económica y la rentabilidad del proyecto.

El presupuesto abarca todas las áreas fundamentales del proyecto, desde los gastos de inversión inicial hasta los ingresos generados por la venta de resinas recicladas. Además, incluye la proyección de los flujos de efectivo y la evaluación de la capacidad de la planta para cubrir los costos operativos y generar beneficios sostenibles.

### **8.1. Pronósticos de ingresos.**

En este apartado, realizamos los pronósticos de ingresos de la planta de reciclaje de plásticos PET, PP y PEAD. Los ingresos proyectados se calculan multiplicando la cantidad de hojuelas de plástico reciclado producidas anualmente por el precio de venta unitario de cada tipo de plástico. Esto nos permite estimar los ingresos anuales del proyecto de manera realista.

Los ingresos se dividen en:

- Ingresos por ventas de hojuelas de PET reciclado.
- Ingresos por ventas de hojuelas de PP reciclado.
- Ingresos por ventas de hojuelas de PEAD reciclado.

Con base en la producción anual máxima estimada para cada tipo de plástico y los precios de venta proyectados, se realizó una estimación de los ingresos totales que generará la planta, ajustada a la capacidad de operación, mostrada en la Tabla N° 101.

Primero se realizó la proyección del costo de las hojuelas por tipo, mostrados en la Tabla N° 100, de acuerdo a la proyección del precio de cambio del dólar, considerando una inflación del 0.8%. Precio actual de las hojuelas PET: s/1.40, PP: s/1.30 y PEAD: s/1.20 por kilogramo.

**Tabla 100**

*Precio de las hojuelas de PET, PP y PEAD del 2025 al 2034*

<b>Año</b>	<b>Tipo de cambio (S/ por USD)</b>	<b>Precio PET (S/)</b>	<b>Precio PEAD (S/)</b>	<b>Precio PP (S/)</b>
2025	3.75	1.40	1.30	1.20
2026	3.78	1.41	1.31	1.21
2027	3.81	1.42	1.32	1.22
2028	3.84	1.43	1.33	1.23
2029	3.87	1.45	1.34	1.24
2030	3.90	1.46	1.35	1.25
2031	3.93	1.47	1.36	1.26
2032	3.97	1.48	1.37	1.27
2033	4.00	1.49	1.39	1.28
2034	4.03	1.50	1.40	1.29

Tabla 101

*Pronósticos de Ingresos*

AÑO	CANTIDAD DE HOJUELAS PRODUCIDAS POR AÑO (Kg/año)			COSTO (S./ kg)			INGRESO ANUAL POR TIPO DE HOJUELAS (S./ año)			INGRESO ANUAL TOTAL (S-/ año)
	PET	PP	PEAD	PET	PP	PEAD	PET	PP	PEAD	
<b>2025</b>	1,038,062.13	219,059.74	424,371.59	1.40	1.30	1.20	1,453,286.98	284,777.66	509,245.91	2,247,310.55
<b>2026</b>	1,211,457.36	281,862.07	433,508.20	1.41	1.31	1.21	1,709,608.63	369,352.05	524,371.52	2,603,332.20
<b>2027</b>	1,411,241.06	360,044.20	443,088.96	1.42	1.32	1.22	2,007,475.73	475,576.33	540,248.09	3,023,300.15
<b>2028</b>	1,641,567.87	457,429.55	453,138.07	1.43	1.33	1.23	2,353,794.13	609,044.70	556,920.74	3,519,759.56
<b>2029</b>	1,907,242.84	578,798.95	463,674.42	1.45	1.34	1.24	2,756,615.26	776,807.15	574,429.20	4,107,851.61
<b>2030</b>	1,907,242.84	578,798.95	463,674.42	1.46	1.35	1.25	2,778,668.18	783,021.61	579,024.64	4,140,714.43
<b>2031</b>	1,907,242.84	578,798.95	463,674.42	1.47	1.36	1.26	2,800,897.53	789,285.78	583,656.83	4,173,840.14
<b>2032</b>	1,907,242.84	578,798.95	463,674.42	1.48	1.37	1.27	2,823,304.71	795,600.07	588,326.09	4,207,230.86
<b>2033</b>	1,907,242.84	578,798.95	463,674.42	1.49	1.39	1.28	2,845,891.15	801,964.87	593,032.70	4,240,888.71
<b>2034</b>	1,907,242.84	578,798.95	463,674.42	1.50	1.40	1.29	2,868,658.28	808,380.59	597,776.96	4,274,815.82
<b>TOTAL</b>	16,745,785.42	4,791,189.24	4,536,153.33				24,398,200.57	6,493,810.79	5,647,032.68	36,539,044.03

## **8.2. Presupuesto Egresos**

### **8.2.1. Costos Directos**

Son aquellos costos que se relacionan de manera inmediata y específica con la producción de bienes o servicios. Se pueden asignar directamente al producto final.

#### **8.2.1.1. Costo del agua de proceso**

En el proceso de reciclaje, el agua cumple un rol fundamental en distintas etapas del tratamiento de los residuos plásticos. Para el PET, se emplea en el lavado en caliente, enjuague y separación por densidad; mientras que, para el PEAD y PP, se utiliza en el lavado en caliente y enjuague.

El costo por metro cúbico de agua se ha considerado en S/ 1.8349, de acuerdo con la tarifa establecida por la empresa SEDA Cusco.

Los datos de la cantidad de agua utilizada en el proceso; así como, el costo anual del 2025 al 2034, se muestran en la Tabla N° 102.

Durante el periodo 2025–2034, el consumo total de agua asciende a 58,860.85 m<sup>3</sup>, lo que representa un costo acumulado de S/ 108,003.77.

**Tabla 102***Costo del agua de proceso*

<b>Año</b>	<b>Agua Utilizada en el proceso (Kg/año)</b>	<b>Agua Utilizada en el proceso (m<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Costo anual del agua de proceso (S/. /año)</b>
<b>2025</b>	3,736,464.18	3,736.46	6,856.04
<b>2026</b>	4,306,999.16	4,307.00	7,902.91
<b>2027</b>	4,975,082.93	4,975.08	9,128.78
<b>2028</b>	5,758,978.11	5,758.98	10,567.15
<b>2029</b>	6,680,554.35	6,680.55	12,258.15
<b>2030</b>	6,680,554.35	6,680.55	12,258.15
<b>2031</b>	6,680,554.35	6,680.55	12,258.15
<b>2032</b>	6,680,554.35	6,680.55	12,258.15
<b>2033</b>	6,680,554.35	6,680.55	12,258.15
<b>2034</b>	6,680,554.35	6,680.55	12,258.15
<b>TOTAL</b>	<b>58,860,850.45</b>	<b>58,860.85</b>	<b>108,003.77</b>

**8.2.1.2. Costo del detergente**

En la etapa de lavado en caliente del proceso de reciclaje, tanto para el PET, PEAD y PP, es indispensable el uso de detergente industrial para asegurar una limpieza eficiente de los residuos plásticos. Considerando las características del proceso, que opera a una temperatura aproximada de 80 °C.

Se ha optado por utilizar el Detergente Industrial Maxiclean, el cual se presenta en sacos de 50 kg a un precio de S/ 324.90 por unidad, este detergente contiene tensoactivos aniónicos y no iónicos de alta eficacia, adecuados para eliminar grasas, aceites, suciedad y residuos orgánicos adheridos al plástico.

La cantidad utilizada de detergente varía levemente entre los primeros años del proyecto, hasta estabilizarse a partir del 2029. Como se muestra en la Tabla N° 103, en el primer año se estima un consumo de 45,263.19 kg, lo que representa un costo de S/ 294,120.18. Para los años

posteriores, el consumo incrementa ligeramente conforme se ajusta el proceso operativo, alcanzando un máximo estimado de 84,380.57 kg/año a partir del 2029, con un costo anual de S/ 548,304.97.

En total, durante el horizonte de evaluación 2025–2034, se proyecta un consumo acumulado de 738,015.30 kg de detergente, con un costo total de S/ 4,795,623.40.

**Tabla 103**

*Costo del detergente*

<b>AÑO</b>	<b>Detergente utilizado (kg/año)</b>	<b>Costo anual del detergente (S/. /año)</b>
<b>2025</b>	45,263.19	294,120.18
<b>2026</b>	52,781.86	342,976.54
<b>2027</b>	61,628.31	400,460.73
<b>2028</b>	72,058.50	468,236.15
<b>2029</b>	84,380.57	548,304.97
<b>2030</b>	84,380.57	548,304.97
<b>2031</b>	84,380.57	548,304.97
<b>2032</b>	84,380.57	548,304.97
<b>2033</b>	84,380.57	548,304.97
<b>2034</b>	84,380.57	548,304.97
<b>TOTAL</b>	<b>738,015.30</b>	<b>4,795,623.40</b>

### **8.2.1.3. Costo de soda caustica**

La soda cáustica (hidróxido de sodio) es un insumo químico esencial en el proceso de lavado en caliente, ya que actúa como agente desengrasante y ayuda a remover residuos orgánicos e incrustaciones difíciles adheridas a los residuos plásticos, especialmente en el tratamiento del PET, PEAD y PP.

Para el abastecimiento de este insumo, se ha considerado como proveedor a ATL Chemical, ubicada en Ventanilla, la cual ofrece presentaciones de 25 kg por bolsa. El precio referencial al por mayor es de S/ 95.00 por bolsa, tarifa que se aplicó dado el volumen significativo de compras anuales.

En la Tabla N° 104, se muestra que, durante el primer año de operación, se estima un consumo de 20,941.09 kg, lo que representa un costo de S/ 79,576.16. Conforme el proceso alcanza su nivel óptimo de operación, el uso de soda cáustica se incrementa ligeramente hasta estabilizarse en 38,475.30 kg/año a partir del 2029, con un costo anual correspondiente de S/ 146,206.14.

En total, durante el periodo 2025–2034, se proyecta un consumo acumulado de 337,817.03 kg, lo que implica un costo total de S/ 1,283,704.71 por concepto de soda cáustica.

**Tabla 104**

*Costo de la soda caustica*

<b>Año</b>	<b>Soda caustica utilizada (kg/año)</b>	<b>Costo anual de la soda caustica (S./ año)</b>
<b>2025</b>	20,941.09	79,576.16
<b>2026</b>	24,439.04	92,868.35
<b>2027</b>	28,469.33	108,183.45
<b>2028</b>	33,115.77	125,839.93
<b>2029</b>	38,475.30	146,206.14
<b>2030</b>	38,475.30	146,206.14
<b>2031</b>	38,475.30	146,206.14
<b>2032</b>	38,475.30	146,206.14
<b>2033</b>	38,475.30	146,206.14
<b>2034</b>	38,475.30	146,206.14
<b>TOTAL</b>	<b>337,817.03</b>	<b>1,283,704.71</b>

➤ **Justificación del uso de la soda caustica sólo para el proceso del PET**

En el proceso de reciclaje de plásticos termoformados, el uso de soda cáustica está principalmente asociado al tratamiento del PET, ya que este polímero es más susceptible a contener residuos orgánicos (como restos de bebidas azucaradas y colorantes) que requieren un lavado alcalino intenso para su correcta eliminación. La soda cáustica, al tener un pH altamente alcalino, es eficaz para disolver grasas, azúcares y otras sustancias difíciles de remover que se encuentran frecuentemente en los envases de PET postconsumo.

En cambio, el polipropileno (PP) y el polietileno de alta densidad (PEAD) son polímeros menos polares y más resistentes químicamente, lo que implica que sus residuos suelen presentar menor adherencia de contaminantes orgánicos. Además, estos materiales provienen mayoritariamente de envases de productos de limpieza, tapas o artículos de uso doméstico no alimentario, por lo que no presentan la misma carga de residuos orgánicos que el PET.

Por esta razón, en los procesos industriales de reciclaje de PP y PEAD no se justifica el uso de soda cáustica, siendo suficiente el uso de detergente industrial y agua caliente para lograr una limpieza efectiva, sin comprometer la integridad del material ni generar riesgos adicionales en el tratamiento de aguas residuales (Shahadat Hossain & Anisur Rahman, 2020).

**8.2.1.4. Costo de envases – sacos**

Para el almacenamiento y comercialización de las hojuelas de plástico reciclado (PET, PEAD y PP), se utilizarán sacos tejidos de polipropileno (PP), los cuales son ampliamente empleados para productos a granel debido a su resistencia, ligereza y reutilizabilidad. Cada saco tiene una capacidad de 50 kg de material y puede ser utilizado en promedio hasta 8 veces, lo que optimiza su costo a lo largo del tiempo.

Se estima un precio unitario promedio de S/ 7.00, considerando compras al por mayor a proveedores locales. Esta elección se basa en las características técnicas del saco tejido de PP, que es adecuado para soportar el peso y volumen de las hojuelas, además de facilitar su transporte y almacenamiento.

La Tabla N° 105 muestra el cálculo del número de sacos requeridos por año, así como el costo anual proyectado para el periodo 2025–2034.

**Tabla 105**

*Costo de los envases - sacos*

<b>Año</b>	<b>Cantidad total de hojuelas producidas (kg/año)</b>	<b>Cantidad de sacos necesarios (uds.)</b>	<b>Costo anual de sacos (S./año)</b>
<b>2025</b>	1,681,493.46	4,204.00	29,428.00
<b>2026</b>	1,926,827.63	4,818.00	33,726.00
<b>2027</b>	2,214,374.22	5,536.00	38,752.00
<b>2028</b>	2,552,135.49	6,381.00	44,667.00
<b>2029</b>	2,949,716.20	7,375.00	51,625.00
<b>2030</b>	2,949,716.20	7,375.00	51,625.00
<b>2031</b>	2,949,716.20	7,375.00	51,625.00
<b>2032</b>	2,949,716.20	7,375.00	51,625.00
<b>2033</b>	2,949,716.20	7,375.00	51,625.00
<b>2034</b>	2,949,716.20	7,375.00	51,625.00
<b>TOTAL</b>	<b>26,073,128.00</b>	<b>65,189.00</b>	<b>456,323.00</b>

#### **8.2.1.5. Costo transporte del producto**

Para la venta de las hojuelas de PET, PP y PEAD, estas son trasladadas desde la planta de reciclaje, ubicada en la provincia del Cusco, hacia los centros de comercialización y clientes finales en Lima. Para ello, se contempla el uso de vehículos tipo tráiler con una capacidad de carga de 30 toneladas métricas (TM) por unidad.

El costo unitario por viaje Cusco a Lima se ha estimado en S/ 2,000, considerando tarifas promedio del transporte terrestre de carga pesada para este trayecto, según cotizaciones locales actualizadas.

Dado que la producción anual varía por tipo de material y por año, se ha calculado el número de viajes necesarios para cada tipo de hojuela (PET, PP y PEAD) dividiendo la producción anual entre la capacidad del tráiler, como se aprecia en la ecuación N° 54. Posteriormente, se obtiene el total de viajes anuales, considerando un viaje por cada vehículo necesario, y en base a ello, el costo anual de transporte, con la ecuación N° 55.

$$CVN_i = \frac{CHP_i}{CTR} \quad (54)$$

$$CTP_I = CVN_i * CV \quad (55)$$

Donde:

*CVN*: Cantidad de Vehículos Necesarios

*CHP*: Cantidad de Hojuelas Producidas

*CTR*: Capacidad de cada tráiler = 30 TM

*CTP*: Costo de Transporte del producto

*CV*: Costo por viaje, tramo Cusco – Lima = s/ 2,000.00

En la Tabla N° 106 se presenta el detalle de los costos proyectados para el período de vida útil del proyecto.

**Tabla 106***Costo del transporte del producto*

Año	CHP (TM)			CVN (uds.)			Cantidad de viajes anuales	CTP (S./)
	PET	PP	PEAD	PET	PP	PEAD		
<b>2025</b>	1,038.06	219.06	424.37	35	8	15	58	116,000.00
<b>2026</b>	1,211.46	281.86	433.51	41	10	15	66	132,000.00
<b>2027</b>	1,411.24	360.04	443.09	48	13	15	76	152,000.00
<b>2028</b>	1,641.57	457.43	453.14	55	16	16	87	174,000.00
<b>2029</b>	1,907.24	578.80	463.67	64	20	16	100	200,000.00
<b>2030</b>	1,907.24	578.80	463.67	64	20	16	100	200,000.00
<b>2031</b>	1,907.24	578.80	463.67	64	20	16	100	200,000.00
<b>2032</b>	1,907.24	578.80	463.67	64	20	16	100	200,000.00
<b>2033</b>	1,907.24	578.80	463.67	64	20	16	100	200,000.00
<b>2034</b>	1,907.24	578.80	463.67	64	20	16	100	200,000.00
<b>TOTAL</b>	16,745.79	4,791.19	4,536.15	563	167	157	887	1,774,000.00

**8.2.1.6. Costo energía eléctrica de proceso**

Para estimar del costo de energía eléctrica real en cada máquina del proceso (lavado, enjuague, secado, clasificación, entre otros.) se realizó un ajuste de la potencia nominal proporcionada por el fabricante, en función de la cantidad real de material procesado durante el año base del estudio con respecto a la capacidad máxima de diseño. Esto permitió obtener un valor representativo del consumo eléctrico mensual y su correspondiente costo.

**Metodología de cálculo**

Para este estudio, se realizará el cálculo del costo de la energía eléctrica para la línea de PET para el año 2029 para la lavadora en caliente.

### 1. Determinación del porcentaje de la cantidad de material que ingresa

Cada máquina fue diseñada para una capacidad máxima de 1000 kg/h, fue definida como el valor de diseño para cada una de las principales máquinas de proceso de reciclaje. Esta elección se sustenta en criterios técnicos, operativos y de crecimiento proyectado como se observa en la Tabla N° 21, En el periodo de 2025-2034 se estima que el flujo real de PET será menor. Por tanto, se ajustó el valor de ingreso con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje de la cantidad que ingresa (factor)} \\ & = \left( \frac{\text{PET real que ingresa (kg/h)}}{1000 \text{ (kg/h)}} \right) \times 100 \end{aligned} \quad (56)$$

Ejemplo: PET real que ingresa: 488.34kg/h

$$\text{Porcentaje de la cantidad que ingresa (factor)} = 48.83$$

### 2. Potencia nominal (Pn)

Se tomó el valor de potencia nominal de cada máquina a partir de especificaciones técnicas del fabricante (en kW), ver Apéndice N° 3.

### 3. Cálculo de la potencia real (Pr)

La potencia real utilizada por la máquina se ajustó según la proporción de carga:

$$\text{Potencia real (kW)} = \frac{\text{factor} \times \text{Potencia nominal (kW)}}{100} \quad (57)$$

Ejemplo: Potencial nominal: 7.5kW

$$\text{Potencia real (kW)} = \frac{48.83 \times 7.5}{100} = 3.66 \text{ kW}$$

### 4. Cálculo de la energía consumida por día

Se consideró una jornada diaria de 8 horas de operación:

$$\text{Energía diaria (kWh)} = \text{Potencia real} \times 8h \quad (58)$$

$$\text{Energía diaria (kWh)} = 3.66 \times 8 = 29.30 \text{ kWh/día}$$

### 5. Cálculo de la energía mensual

Asumiendo un régimen de trabajo de 26 días al mes:

$$\text{Energía mensual (kWh)} = \text{Energía diaria} \times 26 \quad (59)$$

$$\text{Energía mensual (kWh)} = 29.30 \times 26 = 761.82 \text{ kWh/mes}$$

### 6. Cálculo del costo anual de energía eléctrica

Finalmente, se aplicó la tarifa eléctrica industrial promedio vigente:

$$\text{Costo anual (S/)} = \text{Energía anual} \times 12 \times 0.65 \quad (60)$$

$$\text{Costo anual (S/)} = 761.82 \times 12 \times 0.65 = S/5942.16$$

Este procedimiento se aplicó individualmente a cada equipo involucrado en el proceso, ya que cada uno tiene una potencia nominal diferente, aunque la capacidad máxima de diseño es común (1000 kg/h). Este enfoque permite obtener una estimación más realista y ajustada al flujo operativo esperado para cada año proyectado, optimizando así la evaluación técnica y económica del sistema.

La Tabla N° 107 muestra la proyección de los costos de energía eléctrica estimados para el procesamiento del material PET durante el periodo 2025-2034. Se considera que la capacidad máxima se alcanza en el año 2029, estabilizándose a partir de ese año.

Tabla 107

*Costos de energía eléctrica estimados para el procesamiento del material PET*

<b>Equipo</b>	<b>Potencia nominal (KW)</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>....</b>	<b>2034</b>	<b>Costo (S/.)</b>
<b>MESA CLASIFICACIÓN MANUAL</b>	2.00	1763.29	2057.82	2397.18	2788.42	3239.71	....	3239.71	28444.98
<b>SACAETIQUETAS TRANSPORTADORA DE BANDA</b>	15.00	11240.97	13118.63	15282.05	17776.21	20653.15	....	20653.15	181336.75
<b>TROMMEL TRANSPORTADORA DE BANDA</b>	1.50	1138.33	1167.14	1197.37	1229.10	1262.41	....	1262.41	12306.38
<b>MOLINO TORNILLO LAVADORA EN CALIENTE</b>	4.00	2891.79	3374.83	3931.38	4573.02	5313.12	....	5313.12	46649.77
<b>TORNILLO ENJUAGUE</b>	1.50	1082.78	1110.18	1138.94	1169.12	1200.80	....	1200.80	11705.83
<b>TORNILLO SEPARACIÓN POR DENSIDAD</b>	23.50	16160.21	18859.57	21969.74	25555.39	29691.33	....	29691.33	260692.89
<b>SECADO POR AIRE CALIENTE</b>	2.20	1571.72	1611.50	1653.23	1697.05	1743.03	....	1743.03	16991.71
<b>TOLVA DE ALMACENAMIENTO</b>	7.50	5358.15	5493.75	5636.03	5785.40	5942.16	....	5942.16	57926.30
	2.20	1828.42	1908.37	1957.79	2009.68	2064.14	....	2064.14	20089.08
	2.20	1737.23	2027.41	2361.75	2747.21	3191.83	....	3191.83	28024.58
	2.20	1843.51	1924.11	1973.95	2026.26	2081.17	....	2081.17	20254.82
	2.20	1751.56	2044.14	2381.24	2769.88	3218.16	....	3218.16	28255.79
	14.00	10590.10	12359.04	14397.19	16746.94	19457.30	....	19457.30	170837.05
	4.00	3025.74	3531.15	4113.48	4784.84	5559.23	....	5559.23	48810.59
<b>Total, Estimado</b>		61983.81	70587.65	80391.32	91658.51	104617.54	....	104617.54	<b>S/ 932,327.26</b>

En la Tabla N° 108 se detallan los costos proyectados por consumo de energía eléctrica asociados al procesamiento del material PP, para los años 2025 a 2034.

**Tabla 108**

*Costos de energía eléctrica estimados para el procesamiento del material PP*

<b>Equipo</b>	<b>Potencia nominal (KW)</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>....</b>	<b>2034</b>	<b>Costo (S/.)</b>
<b>MESA CLASIFICACIÓN MANUAL</b>	2.00	1184.77	1524.43	1947.28	2473.98	3130.40	....	3130.40	25912.87
<b>MOLINO</b>	23.50	11136.86	14329.69	18304.41	23255.42	29425.77	....	29425.77	243580.97
<b>TRANSPORTADORA DE BANDA</b>	1.50	696.65	896.37	1145.00	1454.70	1840.68	....	1840.68	15236.77
<b>LAVADO EN CALIENTE</b>	6.00	2786.58	3585.47	4580.00	5818.80	7362.70	....	7362.70	60947.07
<b>TORNILLO</b>	2.20	874.07	1124.66	1436.62	1825.20	2309.48	....	2309.48	19117.41
<b>ENJUAGUE</b>	2.20	874.07	1124.66	1436.62	1825.20	2309.48	....	2309.48	19117.41
<b>SECADO POR AIRE CALIENTE</b>	10.00	3476.43	4473.09	5713.82	7259.31	9185.42	....	9185.42	76035.15
<b>TOLVA DE ALMACENAMIENTO</b>	4	1390.57	1789.24	2285.53	2903.72	3674.17	....	3674.17	30414.06
<b>Total, Estimado</b>		22420.01	28847.61	36849.28	46816.34	59238.08	....	59238.08	<b>S/ 490,361.70</b>

La Tabla N° 109 presenta los costos estimados de energía eléctrica para el procesamiento del material PEAD, correspondientes al periodo 2025-2034. Al igual que en los demás materiales, se parte del supuesto de que la planta opera a su máxima capacidad desde el año 2029 en adelante.

**Tabla 109**

*Costos de energía eléctrica estimados para el procesamiento del material PEAD*

<b>Equipo</b>	<b>Potencia nominal (KW)</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>....</b>	<b>2034</b>	<b>Costo (S/.)</b>
<b>MESA CLASIFICACIÓN MANUAL</b>	2.20	1147.14	1171.84	1197.74	1224.90	1253.38	....	1253.38	12261.93
<b>MOLINO TRANSPORTADORA DE BANDA</b>	23.50	11457.08	11703.75	11962.41	12233.71	12518.17	....	12518.17	122465.98
<b>LAVADO EN CALIENTE</b>	1.50	714.12	729.49	745.61	762.52	780.25	....	780.25	7633.28
<b>TORNILLO</b>	6.00	2856.47	2917.97	2982.46	3050.10	3121.02	....	3121.02	30533.11
<b>ENJUAGUE</b>	2.20	948.29	968.71	990.12	1012.57	1036.12	....	1036.12	10136.38
<b>SECADO POR AIRE CALIENTE</b>	2.20	948.29	968.71	990.12	1012.57	1036.12	....	1036.12	10136.38
<b>TOLVA DE ALMACENAMIENTO</b>	10.00	4800.72	4904.08	5012.46	5126.14	5245.34	....	5245.34	51315.44
	4	1920.29	1961.63	2004.99	2050.46	2098.14	....	2098.14	20526.18
<b>Total, Estimado</b>		24792.41	25326.18	25885.90	26472.99	27088.53	....	27088.53	<b>S/ 265,008.68</b>

El costo total estimado para el periodo de diez años asciende a S/ 1,687,696.89 como se puede observar en la Tabla N° 110, reflejando la inversión necesaria en energía eléctrica para mantener el funcionamiento constante del proceso de reciclaje de los tres tipos de plástico.

Cabe destacar que estos costos están directamente relacionados con el consumo energético de cada uno de los equipos utilizados en el proceso productivo, siendo un gasto operativo importante que debe ser considerado para una adecuada planificación financiera y operativa de la planta recicladora.

**Tabla 110**

*Costo total de energía eléctrica para el PET, PP y PEAD*

<b>Año</b>	<b>PET (S/)</b>	<b>PP (S/)</b>	<b>PEAD (S/)</b>	<b>Total (S/)</b>
<b>2025</b>	61,983.81	22,420.01	24,792.41	109,196.22
<b>2026</b>	70,587.65	28,847.61	25,326.18	124,761.44
<b>2027</b>	80,391.32	36,849.28	25,885.90	143,126.51
<b>2028</b>	91,658.51	46,816.34	26,472.99	164,947.84
<b>2029</b>	104,617.54	59,238.08	27,088.53	190,944.15
<b>2030</b>	104,617.54	59,238.08	27,088.53	190,944.15
<b>2031</b>	104,617.54	59,238.08	27,088.53	190,944.15
<b>2032</b>	104,617.54	59,238.08	27,088.53	190,944.15
<b>2033</b>	104,617.54	59,238.08	27,088.53	190,944.15
<b>2034</b>	104,617.54	59,238.08	27,088.53	190,944.15
<b>Total, estimado (S/)</b>				<b>1,687,696.89</b>

### **8.2.1.7. Costo de combustible de proceso**

El presente apartado detalla los costos asociados al uso de combustible en el proceso productivo, específicamente en la etapa de lavado en caliente. Para esta operación se utiliza Gas Licuado de Petróleo (GLP), el cual tiene un precio estimado de S/ 3.24 por kilogramo.

Para calcular el consumo y costo del gas licuado de petróleo (GLP) requerido en el proceso de lavado en caliente del PET, se realizó un balance de energía considerando la masa de PET, PP

y PEAD el agua utilizada y sus temperaturas de ingreso y salida. A partir de este balance, se determinó el calor total necesario, y se calculó la cantidad de GLP requerida considerando la eficiencia del sistema de calentamiento.

Para este estudio calcularemos el costo de GLP para el PET en el año 2029.

### **Metodología de cálculo**

#### **Cálculo del costo de GLP por ciclo**

Se multiplicó la masa de GLP (calculado en el balance de energía) por el precio de GLP.

$$\text{Costo GLP por ciclo} = m_{\text{GLP}} \times \text{Precio GLP} \left( \frac{\text{S}}{\text{kg}} \right) \times 8 \times 12 \quad (61)$$

Donde:

mGLP: masa de GLP

Datos:

mGLP: 6.78kg

$$\text{Costo GLP por ciclo} = 10.71 \times 3.24 \times 8 \times 12 = \text{S}/86585.88$$

En la Tabla N° 111 se presenta los datos anuales de los costos de GLP para el periodo 2025–2034 para el PET, PP y PEAD.

El costo total estimado de combustible para el periodo de análisis asciende a S/ 16,867.87. Este gasto representa un componente importante dentro de los costos operativos, ya que la etapa de lavado en caliente requiere una cantidad significativa de energía térmica para garantizar la correcta limpieza y sanitización de los residuos plásticos, lo cual impacta directamente en la calidad del producto reciclado final.

**Tabla 111***Costo total de GLP para el PET, PP y PEAD*

<b>Año</b>	<b>PET (S/)</b>	<b>PP (S/)</b>	<b>PEAD (S/)</b>	<b>Precio (S/)</b>
<b>2025</b>	47126.42	34658.74	38036.83	119,821.99
<b>2026</b>	54998.29	44595.07	38855.75	138,449.11
<b>2027</b>	64068.16	56964.73	39714.49	160,747.38
<b>2028</b>	74524.64	72372.65	40615.20	187,512.49
<b>2029</b>	86585.88	91575.22	41559.58	219,720.67
<b>2030</b>	86585.88	91575.22	41559.58	219,720.67
<b>2031</b>	86585.88	91575.22	41559.58	219,720.67
<b>2032</b>	86585.88	91575.22	41559.58	219,720.67
<b>2033</b>	86585.88	91575.22	41559.58	219,720.67
<b>2034</b>	86585.88	91575.22	41559.58	219,720.67
<b>Total, estimado</b>				<b>1,924,855.01</b>

### **8.2.1.8. Resumen de los costos directos**

La Tabla N° 112, presenta el resumen de todos los costos directos considerados en el estudio del presente proyecto.

### **8.2.2. Costos Indirectos**

Los costos indirectos comprenden aquellos gastos necesarios para el funcionamiento administrativo y operativo del proyecto que no están directamente relacionados con la producción de hojuelas recicladas, pero que son indispensables para garantizar el desarrollo continuo de la empresa.

Estos costos han sido considerados como costos fijos, ya que su monto no varía con el volumen de producción. A continuación, se detallan los principales componentes:

- Servicios básicos del área administrativa: energía eléctrica y agua potable.

- Remuneraciones de personal clave en áreas de dirección, producción, seguridad y salud ocupacional, finanzas, comercialización, vigilancia y limpieza.

En la Tabla N° 113 se muestra estos costos para el período 2025 a 2034.

### **8.2.3. Costos Administrativos**

Los costos administrativos corresponden a los recursos humanos y servicios que permiten el funcionamiento del área administrativa de la empresa. También se consideran costos fijos, ya que no varían con el volumen de producción, y son necesarios para la gestión eficiente del proyecto.

Incluyen:

- Remuneraciones de personal administrativo y de apoyo.
- Servicios de telefonía, internet, útiles de oficina y marketing institucional.

En la Tabla N° 113 se muestra el desglose de los costos administrativos para el periodo de vida útil del proyecto.

### **8.2.4. Costos Financieros**

Son aquellos egresos derivados del uso de recursos financieros externos, como intereses y otros costos asociados a operaciones de financiamiento.

En la Tabla N° 114 se muestran los detalles del servicio de financiamiento de la entidad bancaria y los costos, valores que representan cada detalle en consideración.

Tabla 112

*Resumen de Costos Directos*

<b>Detalle</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>...</b>	<b>2034</b>	<b>Costo Total (s/)</b>
<b>Sacos</b>	29,428.00	33,726.00	38,752.00	44,667.00	51,625.00	...	51,625.00	456,323.00
<b>Detergente</b>	294,120.18	342,976.54	400,460.73	468,236.15	548,304.97	...	548,304.97	4,795,623.40
<b>Soda Caústica</b>	79,576.16	92,868.35	108,183.45	125,839.93	146,206.14	...	146,206.14	1,283,704.71
<b>Energía eléctrica de proceso</b>	109,196.22	124,761.44	143,126.51	164,947.84	190,944.15	...	190,944.15	1,687,696.89
<b>Agua de proceso</b>	6,856.04	7,902.91	9,128.78	10,567.15	12,258.15	...	12,258.15	108,003.77
<b>Combustible</b>	119,821.99	138,449.11	160,747.38	187,512.49	219,720.67	...	219,720.67	1,924,855.01
<b>Conductores</b>	123,714.66	123,714.66	123,714.66	123,714.66	123,714.66	...	123,714.66	1,237,146.60
<b>Personal de recojo</b>	243,937.62	243,937.62	243,937.62	243,937.62	243,937.62	...	243,937.62	2,439,376.20
<b>Personal de Clasificación Manual</b>	93,658.92	93,658.92	93,658.92	93,658.92	93,658.92	...	93,658.92	936,589.20
<b>Personal de Molienda</b>	18,519.57	18,519.57	18,519.57	18,519.57	18,519.57	...	18,519.57	185,195.70
<b>Personal de Lavado, Enjuague</b>	33,547.44	33,547.44	33,547.44	33,547.44	33,547.44	...	33,547.44	335,474.40
<b>Transporte del producto</b>	116,000.00	132,000.00	152,000.00	174,000.00	200,000.00	...	200,000.00	1,774,000.00
<b>Personal de Secado, Envasado</b>	33,547.44	33,547.44	33,547.44	33,547.44	33,547.44	...	33,547.44	335,474.40
<b>Total</b>	<b>1,301,924.23</b>	<b>1,419,610.01</b>	<b>1,559,324.49</b>	<b>1,722,696.20</b>	<b>1,915,984.73</b>	<b>...</b>	<b>1,915,984.73</b>	<b>17,499,463.29</b>

Tabla 113

*Costos indirectos y administrativos*

Detalle	2025	2026	2027 ...	2033	2034	Costo Total (s/)
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>						
<b>Servicios básicos del área administrativa (s/)</b>						
Energía eléctrica	87,556.92	87,556.92	87,556.92 ...	87,556.92	87,556.92	875,569.20
Agua potable y desagüe	9,987.72	9,987.72	9,987.72 ...	9,987.72	9,987.72	99,877.20
<b>Remuneraciones de personal clave en áreas (s/)</b>						
Gerente general (s/)	163,890.00	163,890.00	163,890.00 ...	163,890.00	163,890.00	1,638,900.00
Jefe del área de producción	114,723.00	114,723.00	114,723.00 ...	114,723.00	114,723.00	1,147,230.00
Jefe SSOMA	81,945.00	81,945.00	81,945.00 ...	81,945.00	81,945.00	819,450.00
Jefe de finanzas	32,778.00	32,778.00	32,778.00 ...	32,778.00	32,778.00	327,780.00
Jefe comercial	32,778.00	32,778.00	32,778.00 ...	32,778.00	32,778.00	327,780.00
Puesto de vigilancia	18,519.57	18,519.57	18,519.57 ...	18,519.57	18,519.57	185,195.70
Puesto de limpieza	18,519.57	18,519.57	18,519.57 ...	18,519.57	18,519.57	185,195.70
<b>Costos Totales Directos anuales (s/)</b>	<b>560,697.78</b>	<b>560,697.78</b>	<b>560,697.78 ...</b>	<b>560,697.78</b>	<b>560,697.78</b>	<b>5,606,977.80</b>
<b>COSTOS ADMINISTRATIVOS</b>						
<b>Remuneraciones de personal administrativo y de apoyo (s/)</b>						
Asistente SSOMA	32,778.00	32,778.00	32,778.00 ...	32,778.00	32,778.00	327,780.00
Asistente administrativo y de RRHH	32,778.00	32,778.00	32,778.00 ...	32,778.00	32,778.00	327,780.00
Asistente contable	32,778.00	32,778.00	32,778.00 ...	32,778.00	32,778.00	327,780.00
<b>Servicios dentro del área administrativa (s/)</b>						
Telefonía e Internet	2,802.96	2,802.96	2,802.96 ...	2,802.96	2,802.96	28,029.60
Útiles de escritorio	1,800.00	1,800.00	1,800.00 ...	1,800.00	1,800.00	18,000.00
Publicidad y marketing	2,400.00	2,400.00	2,400.00 ...	2,400.00	2,400.00	24,000.00
<b>Costos Totales Administrativos anuales (s/)</b>	<b>105,336.96</b>	<b>105,336.96</b>	<b>105,336.96 ...</b>	<b>105,336.96</b>	<b>105,336.96</b>	<b>1,053,369.60</b>

**Tabla 114***Costos financieros*

<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Tasa de interés anual	12%
Cuota inicial	S/ 213,262.58
Importe del préstamo	S/ 2,132,625.76
Periodo del préstamo en años	5
Número de pagos por año	12
Fecha de inicio del préstamo	junio de 2024
Fecha de inicio de pagos mensuales	Ene-25
Pago programado mensual	S/ 43,224.43
Pago programado anual	S/ 518,693.20
Número de pagos programados	60
Número real de pagos	60
Importe total de intereses	S/ 630,878.38
Importe Total pagado	S/ 2,763,504.14
Amortización total del capital	S/ 2,132,625.76

**8.3. Estado de resultados proyectados**

Se elaboró una estimación de los ingresos y egresos operativos del proyecto a lo largo del periodo 2025-2034, considerando únicamente los aspectos relacionados con la producción, es decir, sin incluir la inversión inicial ni el financiamiento. El objetivo es reflejar el desempeño económico esperado de la planta de reciclaje en función de la actividad productiva.

Los ingresos están compuestos por las ventas anuales proyectadas de hojuelas de PET, PP y PEAD, las cuales muestran una evolución creciente a lo largo del periodo analizado, en respuesta

a un aumento en la capacidad de producción y una demanda sostenida del mercado. Por el lado de los egresos, se han considerado los costos, los costos y los costos administrativos.

Los resultados obtenidos en esta sección permiten tener una visión clara de la rentabilidad operativa del proyecto y sirven como base para la elaboración del presupuesto de caja, el cual se detalla en el ítem 8.4.

#### **8.4. Presupuesto de caja**

El presupuesto de caja presenta un resumen de los ingresos y egresos anuales derivados de las operaciones productivas del proyecto, sin considerar la inversión ni el financiamiento, ya que únicamente se contemplan los costos e ingresos correspondientes a la parte de producción. Su finalidad es mostrar el comportamiento económico del proyecto en términos de rentabilidad operativa a lo largo del horizonte de evaluación.

Para el armado de la Caja de Flujo se consideran los ingresos por ventas de hojuelas recicladas (PET, PP y PEAD); así como, los costos directos, indirectos y administrativos correspondientes, permitiendo evaluar la sostenibilidad financiera del negocio en el tiempo.

**Tabla 115***Resumen de ingresos y egresos por año*

<b>Detalle</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>...</b>	<b>2034</b>
<b>INGRESOS</b>							
Ingreso por ventas de hojuelas anuales							
<b>PET (S/)</b>	1,453,286.98	1,709,608.63	2,007,475.73	2,353,794.13	2,756,615.26	...	2,868,658.28
<b>PP (S/)</b>	284,777.66	369,352.05	475,576.33	609,044.70	776,807.15	...	808,380.59
<b>PEAD (S/)</b>	509,245.91	524,371.52	540,248.09	556,920.74	574,429.20	...	597,776.96
<b>Total, Ingresos (S/)</b>	2,247,310.55	2,603,332.20	3,023,300.15	3,519,759.56	4,107,851.61	...	4,274,815.82
<b>EGRESOS</b>							
<b>Costos Directos (S/)</b>	1,301,924.23	1,419,610.01	1,559,324.49	1,722,696.20	1,915,984.73	...	1,915,984.73
<b>Costos Indirectos (S/)</b>	560,697.78	560,697.78	560,697.78	560,697.78	560,697.78	...	560,697.78
<b>Costos Administrativos (S/)</b>	105,336.96	105,336.96	105,336.96	105,336.96	105,336.96	...	105,336.96
<b>Total, Egresos (S/)</b>	1,967,958.97	2,085,644.75	2,225,359.23	2,388,730.94	2,582,019.47	...	2,582,019.47

En la Tabla N° 115 mostrada, se observa una tendencia creciente en los 10 años en los ingresos por ventas de hojuelas de PET, PP y PEAD, lo que refleja una proyección positiva de la demanda del producto. Esta relación favorable entre ingresos y egresos indica que el proyecto es económicamente viable y rentable desde el inicio de sus operaciones.

### **8.5. Fuentes y usos de fondos**

El presupuesto de fuentes y usos de fondos es una herramienta clave en la planificación financiera de cualquier proyecto. Este presupuesto nos permite conocer de dónde provienen los recursos financieros necesarios para implementar y operar el proyecto, y cómo se van a utilizar estos fondos a lo largo del proceso. En este caso, se refiere a los fondos necesarios para la

construcción y operación de la planta de reciclaje de hojuelas de plástico reciclado (PET, PP y PEAD).

### **8.5.1. Fuentes de fondos**

Las fuentes de fondos son los recursos financieros que se obtienen para llevar a cabo las inversiones necesarias para el proyecto. Estas fuentes pueden ser de diferentes tipos, como:

**Aportaciones de los accionistas o socios:** Son los fondos proporcionados por los socios o inversores iniciales para financiar la puesta en marcha del proyecto, para este fin se considera 60% de aportaciones por parte de los socios.

**Préstamos bancarios:** Fondos que se obtienen a través de préstamos otorgados por entidades financieras, que deben ser devueltos con intereses durante un período determinado, en el proyecto es considerado el 40% de la inversión total como préstamo bancario.

### **8.5.2. Uso de fondos**

Los usos de fondos reflejan cómo se destinan los recursos obtenidos para el desarrollo y operación del proyecto. Los fondos se utilizan en distintas fases del proyecto, que incluyen:

**Inversión inicial:** Los fondos se destinan a la compra de activos fijos, activos intangibles.

**Costos operativos:** Fondos destinados a cubrir los costos recurrentes de la operación de la planta, como salarios, energía, mantenimiento de maquinaria, entre otros; considerados como Costo de capital en un periodo de 4 meses, al inicio del arranque de producción de la planta

**Pago de deudas:** Si se ha obtenido financiamiento mediante préstamos o créditos, los fondos también se utilizan para pagar las cuotas o intereses de esas deudas.

**Imprevistos:** Se asignan fondos para cubrir cualquier costo inesperado que pueda surgir durante la ejecución del proyecto, como incrementos en los costos de materiales, o la necesidad de realizar ajustes en el proceso de producción.

## 8.6. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio es un concepto clave en la evaluación financiera de proyectos, ya que nos indica el nivel de ventas necesario para cubrir todos los costos fijos y variables de un proyecto, sin generar ni pérdidas ni ganancias. En otras palabras, el punto de equilibrio marca el momento en que los ingresos generados por las ventas igualan a los costos totales del proyecto.

El Punto de Equilibrio se calculó utilizando la ecuación N° 62, para el cálculo del Costo Variable Unitario, el Ingreso Total y el Costo Total, las ecuaciones N°63, 64 y 65 respectivamente.

$$PE = \frac{CF}{P - CV_u} \quad (62)$$

$$CV_u = \frac{CVT}{CP} \quad (63)$$

$$IT = P * Q \quad (64)$$

$$CT = CF + CV_u * Q \quad (65)$$

Donde:

*PE*: Punto de Equilibrio

*CV<sub>u</sub>*: Costo Variable Unitario

*IT*: Ingreso Total

*CT*: Costo Total

*CF*: Costos Fijos

*P*: Precio de Venta Unitario

$CV_u$ : Costo Variable Unitario

$CVT$ : Costo Variable Total

$CP$ : Cantidad de unidades producidas (vendidas)

$Q$ : Cantidad de unidades

Se determinó el punto de equilibrio del proyecto con dos enfoques: de manera anual y también acumulada para el periodo 2025-2034. El cálculo anual permite tener una visión más precisa del comportamiento financiero del proyecto en cada ejercicio, identificando en qué momento se cubren los costos totales con los ingresos generados por las ventas. Esta información resulta útil para la toma de decisiones operativas año a año. Por otro lado, el cálculo del punto de equilibrio total a 10 años proporciona una visión global del desempeño del proyecto a largo plazo, permitiendo evaluar su sostenibilidad financiera en el tiempo.

#### ***8.6.1. Producción de hojuelas y Precio de Venta en general anuales en el proyecto***

Para realizar estos cálculos, se agruparon los volúmenes de producción de hojuelas de PET, PP y PEAD como una sola cantidad total de unidades producidas y vendidas. Asimismo, se promedió el precio de venta por kilogramo de las hojuelas en general, considerando el valor ponderado según la participación de cada tipo de plástico en los ingresos anuales, en la Tabla N° 116 se muestra los promedios obtenidos de cantidad de producción y los precios anuales.

**Tabla 116***Cantidad de producción de hojuelas y Precio de Venta en general anuales*

<b>Año</b>	<b>Cantidad de hojuelas producidas en general (Kg/año)</b>	<b>Precio (s./Kg)</b>
2025	1,681,493.46	1.34
2026	1,926,827.63	1.35
2027	2,214,374.22	1.37
2028	2,552,135.49	1.38
2029	2,949,716.20	1.39
2030	2,949,716.20	1.40
2031	2,949,716.20	1.41
2032	2,949,716.20	1.43
2033	2,949,716.20	1.44
2034	2,949,716.20	1.45

En cuanto a los costos, se clasificaron en costos fijos y variables.

### **8.6.2. Costos fijos**

Se consideraron como costos fijos aquellos que no varían con el nivel de producción, manteniéndose constantes durante los diez años proyectados. En la Tabla N° 117 se incluyen las remuneraciones del personal operativo y administrativo; así como, servicios como energía eléctrica, agua, telefonía, útiles de oficina y publicidad. Dado que estas funciones y servicios son necesarios de forma continua para el funcionamiento del proyecto, sus costos no dependen de la cantidad de hojuelas producidas. El costo fijo total anual asciende a S/ 1,328,960.39.

Tabla 117

*Costos fijos*

<b>Detalle</b>	<b>Costo (S/)</b>
<b>Remuneraciones anuales de personal Mano de Obra Directa</b>	
Conductores	123,714.6600
Personal de recojo	243,937.6200
Clasificación Manual	93,658.9200
Molienda	18,519.5700
Lavado, Enjuague	33,547.4400
Transporte del producto	116,000.0000
Secado, Envasado	33,547.4400
<b>Remuneraciones anuales de personal Mano de Obra Indirecta</b>	
Gerente general	163,890.0000
Jefe del área de producción	114,723.0000
Jefe SSOMA	81,945.0000
Jefe de finanzas	32,778.0000
Jefe comercial	32,778.0000
Puesto de vigilancia	18,519.5700
Puesto de limpieza	18,519.5700
Asistente SSOMA	32,778.0000
Asistente administrativo y de RRHH	32,778.0000
Asistente contable	32,778.0000
<b>Servicios anuales del área administrativa</b>	
Energía eléctrica	87,556.9200
Agua potable y desagüe	9,987.7200
Telefonía e Internet	2,802.9600
Útiles de escritorio	1,800.0000
Publicidad y marketing	2,400.0000
<b>Costo Fijo Total Anual</b>	<b>1,328,960.3900</b>

### 8.6.3. Costos Variables

Los costos variables del proyecto están compuestos por los insumos y servicios cuyo consumo está directamente relacionado con el volumen de producción. Estos incluyen la adquisición de sacos para el envasado de las hojuelas, detergente y soda cáustica utilizados en el proceso de lavado; así como, el consumo de energía eléctrica, agua de proceso y combustible necesario para el funcionamiento de la planta. Como se muestra en la Tabla N° 118, estos costos varían en función de la cantidad de material reciclado procesado anualmente.

**Tabla 118**

*Costos variables por año*

<b>Año</b>	<b>Sacos (S/)</b>	<b>Detergente (S/)</b>	<b>Soda Caústica (S/)</b>	<b>Energía eléctrica de proceso (S/)</b>	<b>Agua de proceso (S/)</b>	<b>Combustible (S/)</b>	<b>Costo Variable Total Anual (S/)</b>
2025	29,428.00	294,120.18	79,576.16	109,196.22	6,856.04	119,821.99	<b>638,998.58</b>
2026	33,726.00	342,976.54	92,868.35	124,761.44	7,902.91	138,449.11	<b>740,684.36</b>
2027	38,752.00	400,460.73	108,183.45	143,126.51	9,128.78	160,747.38	<b>860,398.84</b>
2028	44,667.00	468,236.15	125,839.93	164,947.84	10,567.15	187,512.49	<b>1,001,770.55</b>
2029	51,625.00	548,304.97	146,206.14	190,944.15	12,258.15	219,720.67	<b>1,169,059.08</b>
2030	51,625.00	548,304.97	146,206.14	190,944.15	12,258.15	219,720.67	<b>1,169,059.08</b>
2031	51,625.00	548,304.97	146,206.14	190,944.15	12,258.15	219,720.67	<b>1,169,059.08</b>
2032	51,625.00	548,304.97	146,206.14	190,944.15	12,258.15	219,720.67	<b>1,169,059.08</b>
2033	51,625.00	548,304.97	146,206.14	190,944.15	12,258.15	219,720.67	<b>1,169,059.08</b>
2034	51,625.00	548,304.97	146,206.14	190,944.15	12,258.15	219,720.67	<b>1,169,059.08</b>

#### 8.6.4. Cálculo del punto de equilibrio anual

➤ Para el año 2025

**Tabla 119**

*Punto de Equilibrio para el año 2025*

Detalle	Valor	Unidades
Costo Fijo, CF	1,328,960.39	soles
Costo Variable Total, CVT	638,998.58	soles
Cantidad producida, CP	1,681,493.46	kilogramos
Precio de venta unitario, P	1.34	soles/kilogramo
Haciendo uso de las Ecuaciones 62 y 63		
Costo Variable Unitario, $CV_u$	0.38	soles/kilogramo
Punto de Equilibrio, PE	1,389,430.81	kilogramos

Desarrollando de forma gráfica, se proyectan en un plano XY, los valores de los Costos Totales (CT) e Ingreso Total (IT) en función de la cantidad de Cantidad de unidades (Q), mostrados en la Tabla N° 120, utilizando las Ecuaciones N° 64 y 65.

**Tabla 120**

*Ingresos Totales y Costos Totales por cantidad producida para el año 2025*

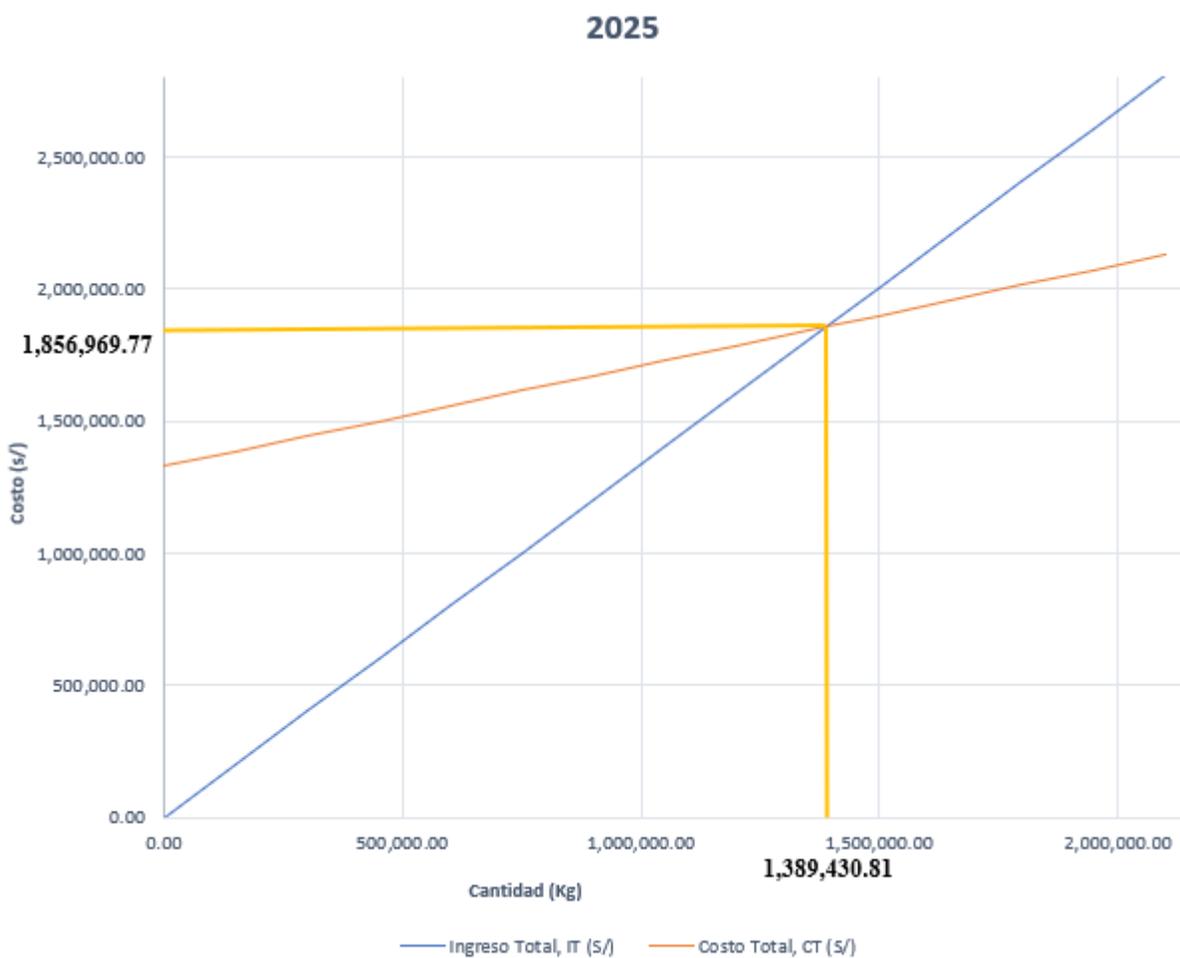
Cantidad de unidades, Q (Kg)	Ingreso Total, IT (S/)	Costo Total, CT (S/)
0.00	0.00	1,328,960.39
150,000.00	200,474.51	1,385,963.16
300,000.00	400,949.03	1,442,965.93
450,000.00	601,423.54	1,499,968.70
600,000.00	801,898.05	1,556,971.48
750,000.00	1,002,372.57	1,613,974.25
900,000.00	1,202,847.08	1,670,977.02
1,050,000.00	1,403,321.59	1,727,979.79
1,200,000.00	1,603,796.11	1,784,982.56
<b>1,389,430.81</b>	<b>1,856,969.77</b>	<b>1,856,969.77</b>

Cantidad de unidades, Q (Kg)	Ingreso Total, IT (S/)	Costo Total, CT (S/)
1,500,000.00	2,004,745.13	1,898,988.11
1,650,000.00	2,205,219.64	1,955,990.88
1,800,000.00	2,405,694.16	2,012,993.65
1,950,000.00	2,606,168.67	2,069,996.42
2,100,000.00	2,806,643.18	2,126,999.19

Tomando los valores de Q en el eje X, y los valores de CT e IT en el eje Y, se obtiene el siguiente gráfico:

**Figura 35**

*Punto de Equilibrio para el año 2025*



Como se muestra en la Figura N° 35, el punto de equilibrio calculado para el año 2025 es de 1,389,430.81 kilogramos, lo que significa que el proyecto debe producir y vender al menos esa cantidad de hojuelas recicladas para cubrir la totalidad de sus costos fijos y variables. A partir de ese volumen, cualquier unidad adicional generará utilidad para la empresa, lo cual evidencia que alcanzar este nivel de producción es fundamental para garantizar la sostenibilidad financiera del proyecto.

➤ **Resumen de los puntos de equilibrio por años**

De igual modo se tomó los valores para cada uno de los años y se halló el punto de equilibrio anual correspondiente, mostrados en la Tabla N° 121.

**Tabla 121**

*Punto de equilibrio por años*

<b>Año</b>	<b>Cantidad producida, CP (kg)</b>	<b>Punto de Equilibrio, PE (kg)</b>
2025	1,681,493.46	1,389,430.81
2026	1,926,827.63	1,374,751.33
2027	2,214,374.22	1,360,587.10
2028	2,552,135.49	1,346,982.43
2029	2,949,716.20	1,333,900.21
2030	2,949,716.20	1,319,148.94
2031	2,949,716.20	1,304,606.20
2032	2,949,716.20	1,290,268.05
2033	2,949,716.20	1,276,130.67
2034	2,949,716.20	1,262,190.29

El análisis del punto de equilibrio a lo largo de los diez años proyectados en la Tabla N° 121, muestra una producción anual creciente en los primeros años hasta estabilizarse en 2,949,716.20 kilogramos a partir del año 2029. Paralelamente, el punto de equilibrio disminuye progresivamente, pasando de 1,389,430.81 kilogramos en 2025 a 1,262,190.29 kilogramos en

2034. Esta tendencia refleja una mayor eficiencia operativa del proyecto, ya que se requiere producir menos para cubrir los costos totales. La diferencia cada vez mayor entre la cantidad producida y el punto de equilibrio indica un incremento sostenido en la rentabilidad, lo cual fortalece la viabilidad económica del proyecto a largo plazo.

#### 8.6.5. *Cálculo del punto de equilibrio global*

Como se indicó previamente para el cálculo del punto de equilibrio global se tomaron valores promedio de los 10 años de vida útil del proyecto, se promedió los valores de Costo Variable Total, Cantidad producida y el Precio de venta unitario, usando las ecuaciones N° 66, 67 y 68, con las Tablas N° 116 y 118, resultados mostrados en la Tabla N° 122.

$$CVT_{global} = \frac{\sum_1^{10} CVT_i}{10} \quad (66)$$

$$Q_{global} = \frac{\sum_1^{10} Q_i}{10} \quad (67)$$

$$P_{global} = \frac{\sum_1^{10} P_i}{10} \quad (68)$$

Donde:

$CVT_{global}$ : Costo Variable Total global (por los 10 años)

$Q_{global}$ : Cantidad Producida global (por los 10 años)

$P_{global}$ : Precio de Venta Unitario global (por los 10 años)

$CVT_i$ : Costo Variable Total por año (del 2025 al 2034)

$Q_i$ : Cantidad Producida por año (del 2025 al 2034)

$P_i$ : Precio de Venta Unitario por año (del 2025 al 2034)

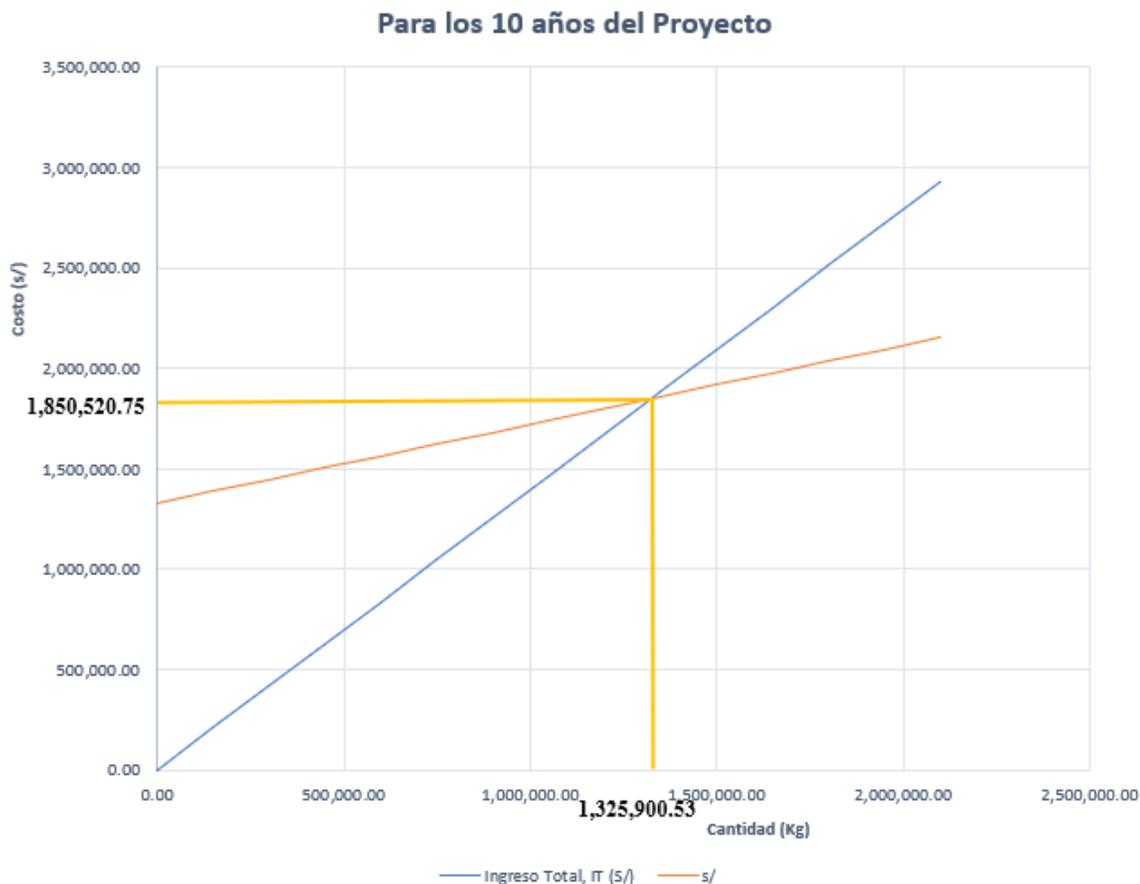
**Tabla 122***Punto de equilibrio global*

<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Costo Fijo, CF)	1,328,960.39	soles
Costo Variable Total, $CVT_{global}$	1,025,620.68	soles
Cantidad producida, CP	2,607,312.80	kilogramos
Precio de venta unitario, P	1.40	soles/kilogramo
Haciendo uso de las Ecuaciones 61 y 62		
Costo Variable Unitario, $CV_u$	0.39	soles/kilogramo
Punto de Equilibrio, PE	1,325,900.53	kilogramos

De igual modo se graficó los Costos Totales e Ingresos Totales en función de la Cantidad de unidades.

**Tabla 123***Ingresos Totales y Costos Totales por cantidad producida globalmente*

<b>Cantidad de unidades, Q (Kg)</b>	<b>Ingreso Total, IT (S/)</b>	<b>Costo Total, CT (S/)</b>
0.00	0.00	1,328,960.39
150,000.00	209,350.63	1,387,964.86
300,000.00	418,701.26	1,446,969.32
450,000.00	628,051.89	1,505,973.79
600,000.00	837,402.53	1,564,978.26
750,000.00	1,046,753.16	1,623,982.72
900,000.00	1,256,103.79	1,682,987.19
1,050,000.00	1,465,454.42	1,741,991.66
<b>1,325,900.53</b>	<b>1,850,520.75</b>	<b>1,850,520.75</b>
1,350,000.00	1,884,155.68	1,860,000.59
1,500,000.00	2,093,506.31	1,919,005.06
1,650,000.00	2,302,856.95	1,978,009.53
1,800,000.00	2,512,207.58	2,037,013.99
1,950,000.00	2,721,558.21	2,096,018.46
2,100,000.00	2,930,908.84	2,155,022.93

**Figura 36***Punto de Equilibrio global*

### 8.6.6. *Importancia del Punto de Equilibrio*

El punto de equilibrio es crucial para la gestión financiera del proyecto porque nos proporciona una referencia clara sobre:

- La viabilidad del proyecto: Si el punto de equilibrio es demasiado alto en relación con la capacidad de producción y el mercado disponible, el proyecto podría no ser rentable.

- La gestión de riesgos: Conocer el punto de equilibrio nos permite identificar los riesgos financieros y tomar decisiones sobre precios, costos y estrategias de ventas.
- La planificación estratégica: Nos ayuda a definir objetivos de ventas, a prever el impacto de cambios en costos o precios, y a establecer metas claras para alcanzar la rentabilidad.

## **Capítulo IX. Evaluación económica y financiera del proyecto**

En este capítulo, se aborda la evaluación de la viabilidad económica y financiera del proyecto de reciclaje de plásticos (PET, PP y PEAD). La evaluación económica y financiera es fundamental para determinar si el proyecto es rentable, sostenible y capaz de generar los beneficios esperados en el futuro. Este análisis nos proporciona herramientas cuantitativas para la toma de decisiones informadas y la planificación estratégica.

### **9.1. Horizonte de evaluación**

El horizonte de evaluación es el período de tiempo durante el cual se analizarán los flujos de caja del proyecto. Este horizonte debe reflejar el ciclo de vida esperado del proyecto, desde su implementación hasta el momento en que se espera que los beneficios se estabilicen o disminuyan.

En el caso del proyecto de reciclaje de plásticos, el horizonte de evaluación puede abarcar un periodo de 5 a 10 años, dependiendo de la vida útil de la planta, los equipos, y las proyecciones de demanda. Durante este periodo, se deben tener en cuenta todos los costos de operación, los ingresos proyectados, y los costos de mantenimiento de los activos fijos; además, de los posibles escenarios económicos y operativos.

La elección del horizonte de evaluación es clave, ya que permite prever tanto los costos iniciales de inversión como los beneficios generados a largo plazo, considerando las fluctuaciones en los precios de los plásticos reciclados, la evolución de la tecnología de reciclaje, y los cambios regulatorios.

El horizonte de evaluación influye directamente en los cálculos de indicadores económicos y financieros, como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), que dependen

de la duración del proyecto y los flujos de caja que se anticipan para ese periodo. (Bejar Sanchez, 2019)

## 9.2. Costo de oportunidad del capital

El costo de oportunidad del capital representa la rentabilidad que dejamos de percibir al destinar los recursos a la implementación de la planta de producción de hojuelas de residuos plásticos de PET, PP y PEAD, en lugar de invertirlos en otra alternativa con un nivel de riesgo similar. Por ello, consideramos este costo como la tasa mínima de retorno que el proyecto debe generar para ser financieramente viable y justificar la inversión realizada.

Se obtuvo los datos de la Tabla N° 124 de diversas páginas del estado peruano, con una tasa de impuesto a la renta de 29.5%.

### Tabla 124

*Datos para el cálculo del costo de oportunidad del capital*

<b>Detalle</b>	<b>Valor (%)</b>
Tasa libre de riesgo, $r_f$	6.41
Riesgo de país, $R$	1.5
Tasa promedio de mercado, $r_m$	6.62

En la Tabla N° 124 se presenta la tasa libre de riesgo ( $R_f$ ), la cual fue obtenida de The Wall Street Journal (WSJ, 2022). El rendimiento del mercado ( $R_m$ ), acorde al sector de la empresa (S&P Global, 2022). Asimismo, el riesgo país ( $R_p$ ) fue extraído del informe de JP Morgan, (2022).

### 9.2.1. Cálculo del costo de oportunidad del capital

Para el cálculo del costo de oportunidad del capital se utilizó la ecuación N° 69, para el Beta del proyecto y Beta Des apalancada, las ecuaciones N° 70 y 71, respectivamente.

$$COK = r_f + \beta_{proy}(r_m - r_f) + R \quad (69)$$

$$\beta_{proy} = \left( 1 + \left( \frac{D}{E} * (1 - Tax) \right) \right) * \beta_{\mu} \quad (70)$$

$$\beta_{\mu} = \frac{1}{1 + \left( \frac{D'}{E'} * (1 - TAX) \right)} * \beta_{equity} \quad (71)$$

Donde:

*COK*: Costo de oportunidad de capital

*β<sub>proy</sub>*: Beta del proyecto

*β<sub>μ</sub>*: Beta des apalancada

*r<sub>f</sub>*: Tasa libre de riesgo, 6.41%

*r<sub>m</sub>*: Tasa promedio de mercado, 6.62%

*R*: Riesgo de país, 1.5%

*D*: Porcentaje Financiado, 60%

*E*: Porcentaje Propio, 40%

*Tax*: Impuesto a la renta del Perú, 29.5%

$\frac{D'}{E'}$ : Ratio (Deuda/Patrimonio) de indicadores de la base (Damodaran, 2024), 19.32%

*TAX*: Impuesto a la renta de indicadores de la base (Damodaran, 2024), 22.54%

*β<sub>equity</sub>*: Beta de indicadores de la base (Damodaran, 2024), 0.92

Reemplazando los valores en las ecuaciones N° 69, 70 y 71, se obtienen los valores mostrados en la Tabla N° 125.

**Tabla 125***Resultados del costo de oportunidad del capital*

<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Beta des apalancada	0.8007
Beta del proyecto	1.6474
Costo de oportunidad de capital	0.0816

El valor del costo de oportunidad del capital (COK) es de 8.16%. Para el cálculo de los valores del VANE, se considera una cantidad mayor de decimales, para un cálculo exacto, 0.0815769596.

### **9.3. Costo promedio de la financiación del proyecto**

El costo promedio de la financiación del proyecto, conocido como Costo Promedio Ponderado de Capital o WACC (Weighted Average Cost of Capital), representa el costo que asumimos al financiar la planta de reciclaje mediante una combinación de capital propio y deuda. Este indicador nos permite conocer la tasa mínima que debe generar el proyecto de para cubrir el costo del capital invertido y garantizar su rentabilidad.

#### **9.3.1. Cálculo del Costo promedio de la financiación del proyecto**

Se hizo el uso de la siguiente ecuación:

$$WACC = \frac{D}{D + E} * i * (1 - T_{ax}) + \frac{E}{D + E} * COK \quad (72)$$

Donde:

*WACC*: Costo promedio de la financiación del proyecto

*D*: Porcentaje Financiado, 40%

$E$ : Porcentaje Propio, 60%

$i$ : Tasa del préstamo bancario

$T_{ax}$ : Impuesto a la renta del Perú

$COK$ : Costo de Oportunidad del Capital

El resultado de reemplazar estos valores en la ecuación N° 72, dio un resultado del WACC del 8.279%, lo cual indica que el proyecto debe generar una rentabilidad mínima de 8.279% anual para cubrir el costo del capital utilizado, tanto propio como ajeno. En otras palabras, este porcentaje representa el rendimiento mínimo que se debe alcanzar para que la planta sea financieramente viable y atractiva para los inversionistas. Si el rendimiento del proyecto, tasa interna de retorno, supera este valor, se generará valor para los accionistas; en caso contrario, implicaría una pérdida de valor.

#### **9.4. Depreciación**

Para efectos del análisis financiero, se consideró una vida útil de 10 años para todos los equipos y maquinarias de la planta de reciclaje de PET, PP y PEAD. Se aplicó el método de depreciación lineal, lo cual permite distribuir uniformemente el valor de cada activo a lo largo de su vida útil. De esta manera, como se muestra en la Tabla N° 126, resulta una depreciación anual total de S/ 7,720.00, que representa el gasto contable por el desgaste de los activos fijos durante el funcionamiento del proyecto.

**Tabla 126***Depreciación de equipos y maquinaria*

<b>Equipos y Maquinarias</b>	<b>Precio Unitario (S/)</b>	<b>Unidades (S/)</b>	<b>Costo Total (S/)</b>	<b>Vida Útil (años)</b>	<b>Depreciación Anual (S/)</b>
Transportadora de Banda	2,000.00	2	4,000.00	10	400.00
Trommel	8,600.00	1	8,600.00	10	860.00
Saca etiquetas	7,600.00	1	7,600.00	10	760.00
Mesa de clasificación manual	2,100.00	1	2,100.00	10	210.00
Molino	13,600.00	1	13,600.00	10	1,360.00
Tornillo	3,000.00	3	9,000.00	10	900.00
Lavadora en caliente	7,400.00	1	7,400.00	10	740.00
Enjuague	4,500.00	1	4,500.00	10	450.00
Separación por densidad	8,600.00	1	8,600.00	10	860.00
Secado por aire caliente	3,000.00	1	3,000.00	10	300.00
Almacenamiento en tolva	1,400.00	1	1,400.00	10	140.00
Sistema de control eléctrico	7,000.00	1	7,000.00	10	700.00
Maquina afiladora de cuchillos	1,500.00	1	1,500.00	10	150.00
<b>TOTAL</b>					<b>7,830.00</b>

Aunque la depreciación no representa una salida real de efectivo, se incluye en el diagrama de flujo de caja debido a su impacto en la determinación del impuesto a la renta. Al tratarse de un gasto contable, reduce la utilidad imponible del proyecto, lo que conlleva una disminución en el monto de impuestos a pagar.

En el flujo de caja, la depreciación se suma nuevamente al resultado neto, ya que previamente fue restada en el cálculo de la utilidad. Dado que no implica una salida de efectivo, su reincorporación permite reflejar de manera más precisa la disponibilidad real de fondos del proyecto.

## **9.5. Flujo de caja económico y financiero**

El flujo de caja es una herramienta clave en la evaluación económica y financiera de cualquier proyecto, ya que nos permite conocer la cantidad de dinero que ingresa y sale del proyecto durante un período determinado. En este caso, debemos considerar dos tipos de flujos de caja: el flujo de caja económico y el flujo de caja financiero, que, aunque relacionados, tienen diferencias importantes.

### ***9.5.1. Flujo de Caja Económico***

El flujo de caja económico refleja los ingresos y egresos generados por la actividad principal del proyecto, sin considerar los efectos financieros o los costos de financiamiento. Este flujo se enfoca en la rentabilidad operativa del proyecto y es útil para evaluar la viabilidad del proyecto desde una perspectiva económica, sin tener en cuenta los costos de financiamiento ni las fluctuaciones en las tasas de interés.

**Ingresos económicos:** Son principalmente los derivados de la venta de las hojuelas recicladas de PET, PP y PEAD.

**Egresos económicos:** Son considerados los costos directos, indirectos, administrativos; añadiendo a estos el costo de la implementación de los Sistemas de Mitigación de Agua y Suelo, y en el segundo año, la implementación del sistema de recirculación del agua desde la etapa de enjuague a la de lavado en caliente.

### ***9.5.2. Flujo de Caja Financiero***

El flujo de caja financiero incorpora todos los ingresos y egresos relacionados con los aspectos financieros del proyecto, como los préstamos o financiamientos obtenidos para financiar

la inversión inicial. En este caso, se incluyen los pagos de intereses de los préstamos y el reembolso de capital a los inversionistas o entidades financieras.

### **9.5.3. Flujo de caja**

Se elaboró el flujo de caja económico y el flujo de caja financiero con el fin de evaluar la rentabilidad del proyecto, incluyendo el impuesto a la renta y la depreciación de los equipos y maquinarias, mostrados en Tabla N° 127.

## **9.6. Valor Actual Neto Económico y Valor Actual Neto Financiero (VANE y VANF)**

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador clave en la evaluación de proyectos de inversión. Permite conocer el valor presente de los flujos de caja futuros esperados, descontados a una tasa que refleja el costo de oportunidad del dinero o la tasa de descuento.

Existen dos tipos de VAN que se calculan en proyectos de inversión:

**VAN Económico (VANE):** Este valor se calcula tomando en cuenta los flujos de caja económicos del proyecto, es decir, los ingresos y egresos directamente relacionados con la operación del proyecto, sin considerar los efectos financieros o los costos de financiamiento. El VANE permite evaluar la rentabilidad económica del proyecto sin tener en cuenta el financiamiento obtenido para llevar a cabo el mismo.

**VAN Financiero (VANF):** A diferencia del VANE, el VAN Financiero considera los flujos de caja financieros, es decir, incluye los ingresos y egresos derivados de los costos de financiamiento, como los pagos de intereses y la amortización de la deuda. Este cálculo es útil para evaluar la rentabilidad del proyecto desde el punto de vista de los inversionistas y las entidades financieras que participan en el proyecto.



**Continuación de la Tabla N° 127.**

Saldo antes de impuestos (s/)	254,253.5	517,399.7	797,607.5	1,130,641.3	1,525,381.0	1,558,243.8	1,591,369.5	1,624,760.2	1,658,418.1	1,692,345.2	
Impuesto a la Renta (29.5%)	75,004.8	152,632.9	235,294.2	333,539.2	449,987.4	459,681.9	469,454.0	479,304.3	489,233.3	499,241.8	
Saldo después de los impuestos (s/)	179,248.7	364,766.8	562,313.3	797,102.1	1,075,393.6	1,098,561.9	1,121,915.5	1,145,456.0	1,169,184.7	1,193,103.4	
Depreciación (s/)	7,830.0	7,830.0	7,830.0	7,830.0	7,830.0	7,830.0	7,830.0	7,830.0	7,830.0	7,830.0	
Flujo de caja económico (s/)	-5,331,564.4	187,078.7	372,596.8	570,143.3	804,932.1	1,083,223.6	1,106,391.9	1,129,745.5	1,153,286.0	1,177,014.7	1,200,933.4
Préstamo (s/)	2,132,625.8										
Amortización (s/)	491,222.9	340,023.0	383,146.5	431,739.0	486,494.3						
Flujo de caja financiero (s/)	-3,198,938.6	-304,144.1	32,573.7	186,996.8	373,193.1	596,729.3	1,106,391.9	1,129,745.5	1,153,286.0	1,177,014.7	1,200,933.4

### 9.6.1. Cálculo del VAN

La ecuación general para calcular el VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + COK)^t} - I_0 \quad (73)$$

Donde:

*VAN*: Valor Actual Neto

$F_t$ : Flujo de caja neto en el año  $t$

*COK*: Tasa de descuento

$t$ : Año correspondiente, va del 1 al  $n$  (10)

$I_0$ : Inversión inicial

### 9.6.2. Interpretación de resultados del VAN

#### ➤ VAN positivo ( $VAN > 0$ )

Cuando el VAN es mayor que cero, el proyecto se considera rentable. Esto significa que los ingresos futuros, traídos a valor presente, superan la inversión inicial, generando un excedente. En este caso, el proyecto crea valor y es recomendable llevarlo a cabo.

#### ➤ VAN igual a cero ( $VAN = 0$ )

Si el VAN es igual a cero, el proyecto apenas recupera la inversión inicial. No genera pérdidas, pero tampoco ganancias adicionales. La decisión de ejecutarlo dependerá de si existen otras alternativas más rentables.

➤ **VAN negativo ( $VAN < 0$ )**

Cuando el VAN es menor que cero, el proyecto no es rentable. Los ingresos proyectados no alcanzan para recuperar lo invertido, lo que implica una pérdida económica. En este escenario, lo más aconsejable es no realizar la inversión.

### **9.7. Tasa Interna de Retorno Económico y Financiero (TIRE y TIRF)**

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es una de las herramientas más utilizadas en la evaluación de proyectos de inversión. Representa la tasa de descuento a la cual el Valor Actual Neto (VAN) de un proyecto es igual a cero. En otras palabras, es la tasa que hace que el valor presente de los flujos de caja del proyecto iguale la inversión inicial.

Existen dos tipos de TIR:

**Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE):** Es la tasa de retorno calculada utilizando los flujos de caja económicos del proyecto, es decir, aquellos que no incluyen los efectos financieros del proyecto, como los pagos de intereses y amortizaciones. La TIRE nos permite evaluar la rentabilidad operativa del proyecto, sin tener en cuenta el financiamiento.

**Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF):** Es la tasa de retorno calculada con los flujos de caja financieros, que incluyen tanto los ingresos operativos como los costos derivados de la financiación del proyecto. La TIRF es útil para evaluar la rentabilidad financiera del proyecto, considerando los efectos de los costos de financiamiento (como los intereses y la deuda).

### 9.7.1. Cálculo del TIR

Para calcular el TIR, se muestra en la ecuación N°74, implica igualar el VAN a 0.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (74)$$

Donde:

*TIR*: Tasa Interna de Retorno

$F_t$ : Flujo de caja neto en el año  $t$

$t$ : Año correspondiente, va del 1 al  $n$  (10)

$I_0$ : Inversión inicial

### 9.7.2. Interpretación de resultados del TIR

#### ➤ **TIR > COK**

Cuando la TIR es superior al Costo de Oportunidad del Capital (COK), el proyecto es rentable. Esto quiere decir que la rentabilidad esperada supera la mínima exigida, por lo tanto, el proyecto debe aceptarse.

#### ➤ **TIR = COK**

Si la TIR es igual al COK, el proyecto apenas cumple con el rendimiento mínimo esperado. En este caso, no genera valor adicional, pero tampoco representa una pérdida. Es una decisión neutral.

#### ➤ **TIR < COK**

Cuando la TIR es menor que el COK, el proyecto no es rentable. La rentabilidad esperada está por debajo de lo que se podría obtener en otra inversión con riesgo similar, por lo tanto, se recomienda no ejecutarlo.

### 9.7.3. Cálculo del Valor Actual Neto Económico (VANE)

Considerando el valor del COK, 0.081577, en la Tabla N° 128 se muestran los datos de los flujos de caja económicos netos anuales, y el monto de la inversión total.

**Tabla 128**

*Valores para el cálculo del VANE*

<b>Año</b>	<b>Año correspondiente, t</b>	<b>Flujo de caja neto anual, <math>F_t</math> (S/)</b>	<b>Inversión inicial, <math>I_0</math> (S/)</b>
2025	1	187,078.74	5,331,564.40
2026	2	372,596.78	
2027	3	570,143.30	
2028	4	804,932.09	
2029	5	1,083,223.60	
2030	6	1,106,391.88	
2031	7	1,129,745.51	
2032	8	1,153,285.97	
2033	9	1,177,014.75	
2034	10	1,200,933.36	

El resultado de reemplazar los valores en la Ecuación N° 73, da un resultado del VANE igual a S/ 19,421.80, indica que, al aplicar una tasa de descuento (COK) del 8.157%, el proyecto generaría un valor adicional de S/ 19,421.80 por encima de lo invertido inicialmente. Es decir, el proyecto no solo recupera la inversión, sino que además genera valor económico real para los inversionistas.

#### 9.7.4. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE)

Para el cálculo del TIRE, se tiene los datos de la Tabla N° 128, los valores Flujo de caja neto anual e Inversión inicial.

Se tienen dos métodos:

##### 9.7.4.1. Uso de la herramienta Excel

Se usó la función “=TIR(valores del flujo de caja económico)”, los valores son todos los flujos de caja neto anual y la Inversión inicial.

Resultando 8.22% el valor del TIRE

##### 9.7.4.2. Uso de Interpolación Lineal

Se Probó dos tasas de descuento, dos COK distintos (una que dé VAN positivo y otra que dé VAN negativo).

A una tasa del 8% ( $r_1$ ) →  $VAN_1$  es +S/ 67,129.02

A una tasa del 10% ( $r_2$ ) →  $VAN_2$  es -S/ 498,363.61

Donde:

$r_1$ : Tasa de descuento, 0.08 (COK1)

$r_2$ : Tasa de descuento, 0.10 (COK2)

Se aplica la ecuación de interpolación para hallar la TIRE:

$$TIRE = r_1 + \left( \frac{VAN_1}{VAN_1 - VAN_2} \right) * (r_2 - r_1) \quad (75)$$

Reemplazando los valores, el TIRE obtenido es de 0.0822, en porcentajes 8.22%.

Los resultados por ambos métodos son TIR como 8.22%.

➤ **Análisis del resultado TIRE en función al COK**

La TIRE de 8.22% supera al COK de 8.16%, lo que indica que el proyecto es económicamente rentable, ya que genera una tasa de retorno superior al mínimo requerido por los inversionistas. Esta diferencia de 0.06 puntos porcentuales sugiere que el proyecto no solo recuperará su inversión, sino que también aportará valor adicional, siendo una opción viable y atractiva desde el punto de vista económico.

#### 9.7.5. Cálculo del Valor Actual Neto Financiero (VANF)

Considerando el valor del Flujo financiero inicial (año 0) de -S/3,198,938.6, en la Tabla N° 129 se muestran los datos de los flujos de caja financieros netos anuales, y el Costo de oportunidad de la capital.

**Tabla 129**

*Valores para el cálculo del VANF*

<b>Año</b>	<b>Año correspondiente, t</b>	<b>Flujos de caja financieros netos anuales, Ft (S/)</b>	<b>Costo de oportunidad de la capital, COK</b>
2025	1	-304,144.15	
2026	2	32,573.74	
2027	3	186,996.84	
2028	4	373,193.06	
2029	5	596,729.25	
2030	6	1,106,391.88	0.0815770
2031	7	1,129,745.51	
2032	8	1,153,285.97	
2033	9	1,177,014.75	
2034	10	1,200,933.36	

El resultado de reemplazar los valores en la Ecuación N° 73, reemplazando el valor de la inversión inicial como el flujo financiero en año cero, es de S/ 423,988.19, considerando una tasa de descuento equivalente al Costo de Oportunidad del Capital (COK) del 8.16%. Este resultado

indica que, desde una perspectiva financiera, el proyecto genera una rentabilidad superior al costo del capital utilizado, evidenciando su capacidad para recuperar la inversión inicial y generar un valor adicional para los inversionistas. Por tanto, el proyecto puede considerarse financieramente viable y recomendable para su ejecución.

#### **9.7.6. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno Financiero (TIRF)**

Para el cálculo del TIRF, se tiene los datos de la Tabla N° 129, los valores Flujo de caja financiero anual desde el año 0.

##### **Uso de la herramienta Excel**

Se usó la función “=TIR(valores del flujo de caja financiero)”.

Resultando 10.10% el valor del TIRF.

El proyecto presenta una Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF) de 10.10%, la cual supera al Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC) establecido en 8.28%. Esta diferencia indica que el rendimiento financiero del proyecto excede el costo del capital utilizado para su financiamiento, generando un margen positivo que contribuye a la creación de valor para los inversionistas. En consecuencia, desde un enfoque financiero, el proyecto resulta rentable y atractivo, validando su viabilidad económica en términos de retorno sobre los recursos comprometidos.

#### **9.8. Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)**

El Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) representa el tiempo que toma a un proyecto recuperar su inversión inicial a través de los flujos netos generados cada año. Para el proyecto, este cálculo se realizó considerando los flujos de caja financieros, los cuales ya incorporan el efecto de la amortización del préstamo.

La inversión inicial total asciende a S/ 5,331,564.4, de los cuales S/ 2,132,625.76 provienen de financiamiento externo mediante préstamo, y el resto corresponde a recursos propios. Por lo tanto, el capital propio invertido que se busca recuperar mediante el análisis del PRI es de S/ 3,198,938.64.

En la Tabla N° 130 se presenta el detalle del cálculo del PRI:

**Tabla 130**

*Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)*

<b>Periodo anual</b>	<b>Año</b>	<b>Flujo de Caja Financiero (s/)</b>	<b>Recuperación Acumulada (s/)</b>	<b>Saldo por Recuperar (s/)</b>
0	2024	-3,198,938.64	0	3,198,938.64
1	2025	-304,144.15	0	3,503,082.79
2	2026	32,573.74	32,573.74	3,470,509.05
3	2027	186,996.84	219,570.58	3,283,512.21
4	2028	373,193.06	592,763.64	2,910,319.15
5	2029	596,729.25	1,189,492.89	2,313,589.90
6	2030	1,106,391.88	2,295,884.77	1,207,198.02
7	2031	1,129,745.51	3,425,630.28	77,452.51
8	2032	1,153,285.97	4,578,916.24	-1,075,833.45
9	2033	1,177,014.75	5,755,930.99	-2,252,848.20
10	2034	1,200,933.36	6,956,864.35	-3,453,781.56

El análisis del Período de Recuperación de la Inversión (PRI) se realiza acumulando los flujos de caja financieros anuales netos. Se observa que al cierre del sexto año (2031) queda un saldo pendiente por recuperar de S/ 77,452.51, mientras que en el séptimo año (2032) se genera un flujo positivo de S/ 1,153,285.97. Desde el 2031 al 2034, los valores que se aprecian en la columna “Saldo por Recuperar”, se aprecian con valor negativo, ya que, en el 2031, se recupera la inversión, y desde este año, esos valores son ingresos, ganancias.

Para determinar el PRI con mayor precisión en años decimales, se aplica interpolación lineal con la siguiente ecuación:

$$PRI \text{ exacto} = 7 + \frac{77,452.51}{1,153,285.97}$$

Resultando 7.069 el valor del PRI, esto indica que la inversión se recupera a los 7 años más el 0.069% del siguiente año, lo que equivale aproximadamente a 0 meses y 22 días.

Dado que la vida útil del proyecto es de 10 años, el PRI calculado indica que la recuperación de la inversión se realiza en un plazo adecuado y considerablemente antes del término de la vida útil. Esto aporta solidez financiera al proyecto, ya que después de este período la empresa podrá generar flujos de caja netos positivos y beneficios sostenidos durante los años restantes.

## 9.9. Relación Beneficio-Costo (B/C)

La Relación Beneficio-Costo (B/C) es un indicador utilizado para evaluar la rentabilidad de un proyecto. Representa la relación entre los beneficios totales que genera el proyecto y los costos totales asociados a su implementación.

### 9.9.1. Cálculo de la Relación Beneficio-Costo (B/C)

Se hace el uso de la ecuación N° 76, en función de los Beneficios Totales y los Costos Totales.

$$B/C = \frac{\text{Beneficios Totales}}{\text{Costos Totales}} \quad (76)$$

Para su correcta aplicación es fundamental determinar qué se considera como beneficios y costos en el contexto del análisis financiero.

En proyectos de inversión, se entiende comúnmente que:

**Beneficios:** Son los ingresos netos que el proyecto genera a lo largo de su vida útil, es decir, los flujos de caja positivos después de descontar todos los costos, gastos e impuestos asociados. En términos prácticos, se utiliza el flujo de caja económico, que incorpora ingresos, costos operativos, impuestos y depreciación.

**Costos:** Incluyen la inversión inicial y otros desembolsos asociados al proyecto que no estén reflejados en el flujo operativo.

**Interpretación:**

$B/C > 1$ : El proyecto es rentable; los beneficios superan los costos.

$B/C = 1$ : El proyecto es neutro; los beneficios igualan a los costos.

$B/C < 1$ : El proyecto no es rentable; los costos superan los beneficios.

Para el cálculo se muestra en la Tabla N° 131, los valores del Flujo de Caja económico y la inversión total inicial.

**Tabla 131**

*Relación beneficio / costo*

<b>Año</b>	<b>Flujo de caja económico (S/)</b>	<b>Inversión Total inicial (S/)</b>
2025	187,078.74	
2026	372,596.78	
2027	570,143.30	
2028	804,932.09	
2029	1,083,223.60	
2030	1,106,391.88	5,331,564.40
2031	1,129,745.51	
2032	1,153,285.97	
2033	1,177,014.75	
2034	1,200,933.36	
<b>Total</b>	<b>8,785,345.97</b>	

Al reemplazar los valores en la Ecuación N° 75, resultaría:

$$B/C = \frac{36,539,044.03}{24,188,624.22} = 1.51$$

El índice beneficio-costos (B/C) del proyecto es 1.51, lo que indica que por cada sol invertido se obtiene un retorno de S/1.51 en beneficios netos acumulados durante la vida útil del proyecto (10 años). Este resultado superior a 1 evidencia que el proyecto es rentable y viable desde el punto de vista económico, ya que los beneficios superan ampliamente los costos iniciales.

## Conclusiones

1. La implementación de una planta recicladora de plásticos en la provincia de Cusco es técnica, económica y ambientalmente viable, siendo una alternativa sostenible para la valorización de residuos plásticos (PET, PEAD y PP).

2. Se identificó una oferta significativa de residuos plásticos generados en la provincia de Cusco, con un volumen aproximado de 8,115.67 TM, en el año 2029, año en el cuál alcanza la capacidad máxima la planta, lo cual garantiza una base sólida de abastecimiento para la planta, para la cual se considera el 50% de la oferta disponible, 4,057.83 TM. Además, se constató una demanda creciente de productos reciclados por parte de industrias en la capital, respecto a las empresas principales del rubro, se estimada una demanda de 4,150 TM anuales, lo cual representa una oportunidad comercial favorable.

3. Se determinó que el tamaño óptimo de la planta recicladora será de 1000 kg/h tanto para la línea de PET y la línea conjunta de PEAD y PP, operando en un turno de ocho horas durante 26 días al mes, 53 días libres y 312 días al año, esta capacidad equilibra la eficiencia operativa, economía de escala y disponibilidad de materia prima. La planta se localizará en el distrito de San Sebastián, Cusco, obteniendo un puntaje de 7.97, de 10 en el estudio de la localización por encima de los distritos San Jerónimo y Poroy, con 7.23 y 5.28, respectivamente.

4. Se determinaron las etapas operativas adecuadas para cada tipo de plástico, estableciendo secuencias técnicas específicas como la clasificación manual, el triturado, el lavado en caliente, el enjuague y el secado para las tres líneas. Adicionando las etapas de retiro de etiquetas, separación de partículas con Trommel y la separación por densidad para la línea PET. En el balance de materia se reflejó el ingreso de 998.43, 964.74 y 386.27 kg/h de PET, PP y PEAD respectivamente, en los flujos de salida 764.12, 556.54 y 318.46 kg/h hojuelas de PET, PP y PEAD,

como productos, con tasas de recuperación del 76.53%, 57.69% y 82.44% en los procesos de PET, PP y PEAD respectivamente; y en el balance de energía se obtuvo un consumo de 29.30, 36.31 y 15.39 kWh de energía eléctrica; 492,510.28, 520,890.23 y 236,395.60 *kJ* de calor suministrado por el GLP para la etapa de lavado para líneas PET, PP y PEAD, realizados en el año 2029, año en que la planta alcanza su capacidad máxima.

5. Con base en la evaluación económica y financiera realizada, se concluye que la planta recicladora de plásticos en la provincia de Cusco es viable y rentable. La inversión total asciende a S/. 5,331,564.40, financiada en un 60% por aporte de socios y 40% mediante crédito bancario con una TEA del 12%. La evaluación económica arrojó un Valor Actual Neto Económico (VANE) de S/ 19,421.80 y una Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) de 8.222%, ambas cifras superiores al costo de oportunidad del capital (COK) de 8.16%. En el análisis financiero, el VANF fue de S/ 423,988.19 y la TIRF de 10.10%, también superiores al WACC del 8.28%, el valor del PRI son 7 años y 22 días; periodo menor al de la vida útil del proyecto. Asimismo, el índice beneficio/costo (B/C) de 1.51 confirma que por cada sol invertido se genera un retorno mayor a la inversión. Estos indicadores demuestran que el proyecto no solo cubrirá sus costos y obligaciones, sino que también generará utilidad para los inversionistas, lo cual respalda su implementación dentro del horizonte de evaluación de 10 años.

6. El proyecto es ambientalmente viable, con la matriz de Leopold se identificó que los principales impactos se presentan en los medios agua y suelos, por la cantidad de agua usada y agua residual como efluentes en los procesos de lavado y enjuague; generación de residuos sólidos en las etapas de separación pre molienda, con impactos altos negativos -54 y -67, asociados al proceso de agua y suelo respectivamente. Para mitigar estos impactos se implementó el sistema de recirculación de agua, mediante filtración y decantación; así como medidas de control de polvo y

la recolección adecuada de residuos contaminantes realizados por un tercero. Además, el proyecto incluye un sistema de recolección domiciliario con apoyo conjunto de las municipalidades y acciones de educación ambiental.

## Recomendaciones

En función de los resultados obtenidos en el estudio de viabilidad económica y financiera de la planta recicladora de plásticos PET, PP y PEAD, se proponen las siguientes recomendaciones para optimizar el diseño, operación y sostenibilidad del proyecto:

Implementar tecnologías de clasificación automática por rayos infrarrojos, se recomienda incorporar sistemas de separación automatizada mediante espectroscopía infrarroja (NIR) para mejorar la eficiencia y precisión en la etapa de clasificación de plásticos. Esta tecnología permite reducir el error humano, incrementar el ritmo de procesamiento y asegurar una mayor pureza en las fracciones recuperadas.

Ampliar el estudio de oferta de residuos plásticos, se sugiere realizar un análisis más amplio que considere no solo los residuos de origen domiciliario, sino también los generados por sectores comerciales, industriales e institucionales. Esto permitirá proyectar de manera más precisa la capacidad de abastecimiento y dimensionar adecuadamente la infraestructura de la planta.

Evaluar fuentes alternativas de energía térmica, aunque el uso de GLP resultó eficiente, se recomienda considerar fuentes renovables como paneles solares térmicos para el precalentamiento de agua. Esto podría reducir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar el desempeño ambiental del proyecto a largo plazo.

Realizar estudios técnicos diferenciados por tipo de plástico

Debido a que los requerimientos técnicos y energéticos pueden variar significativamente entre PET, PP y PEAD, se recomienda abordar cada uno de manera separada en futuras actualizaciones del proyecto, tanto en lo operativo como en los análisis económicos.

Se recomienda complementar el proceso actual con una segunda lavadora por fricción, etapas adicionales de enjuague y una secadora extra, a fin de establecer una etapa completa de

descontaminación de las hojuelas post molienda. Esta mejora permitiría eliminar residuos orgánicos, químicos o partículas contaminantes que no son retiradas completamente en una única fase de lavado. Con esta optimización, las hojuelas obtenidas podrían cumplir estándares de calidad más altos, permitiendo su uso en la fabricación de productos con contacto indirecto o incluso directo con alimentos, siempre que se cumplan las normativas vigentes, como FDA, es la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos, entidad regula, entre muchas cosas, la seguridad de materiales plásticos reciclados que entran en contacto con alimentos. Esto añadiría un valor agregado considerable al producto final, al abrir mercados más exigentes y mejor cotizados, lo cual reforzaría la sostenibilidad económica del proyecto en el mediano y largo plazo.

### Referencias Bibliográficas

- Aguilar Marchena, P. L. (2017). *PROYECTO DE INVERSIÓN PARA UNA PLANTA DE RECICLADO Y PRODUCCIÓN DE HOJUELAS DE PET EN LA CIUDAD DE CHICLAYO*. [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1273/1/TL\\_AguilarMarchenaPiero.pdf.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1273/1/TL_AguilarMarchenaPiero.pdf.pdf)
- ALIDE, BID, Banobras, & Red APP. (2021). *GUÍA PRÁCTICA PARA LA PREPARACIÓN DE PROYECTOS DE PARTICIPACIÓN PÚBLICO PRIVADA*.
- APRIP. (2023). *Diagnóstico del mercado de plásticos reciclados en Perú- Asociación Peruana de Recicladores del Plástico*. <https://www.aprip.org.pe>
- Armada de Proyectos. (2025). *Precio de naves industriales por m<sup>2</sup> en Perú 2025*.
- Autofact Perú. (2024). *Las marcas chinas más vendidas en Perú en 2023-2024*.
- Bejar Sanchez, S. P. (2019). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE RECICLAJE PARA LA FABRICACIÓN DE RESINAS DE PET A PARTIR DE RESIDUOS PLÁSTICOS*.
- Boretech. (2023). *Proceso de reciclaje de botellas de EPT: Guía paso por paso*. <https://www.bo-retech.com/es/article/pet-bottle-recycling-process.html>
- Candazuri Aguilera, Y., Corral Coronado, Z., & Rodríguez Echevarría, M. (2020). *DETERMINACIÓN DEL COSTO UNITARIO, UNA HERRAMIENTA FINANCIERA EFICIENTE EN LAS EMPRESAS*.
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica (8.ª ed.)*. McGraw-Hill Education.
- CONGRESO DE LA REPUBLICA. (2005). *Ley General del Ambiente-LEY N° 28611*.
- Congreso de la República del Perú. (2009). *Ley N.º 29338 – Ley de Recursos Hídricos*.
- Congreso de la República del Perú. (2011). *Ley N.º 29783 – Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo*.
- Damodaran. (2024). *Equity Risk Premiums (Data, Updates and Papers)*. [https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/home.htm](https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/home.htm)
- Derco Perú. (2024). *Camiones JAC – Precios y modelos disponibles en Perú*.
- DFSK Perú. (2024). *Vehículos comerciales DFSK – Precios y características*.
- Diario El Peruano. (2017). *Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos – Ley N.º 1278*.
- Diario El Tiempo de Cusco. (2021). *CUSCO GENERA MÁS DE 500 TONELADAS DE BASURA DIARIA*. <https://eltiempocusco.pe/2024/cusco-genera-mas-de-500-toneladas-de-basura-diaria/>
- Diario Oficial El Peruano. (2009). *Ley N.º 29316 - Ley de Promoción del Reciclaje*.

- Dirección Desconcentrada de Cultura Cusco. (2023). *PLAN DE DESARROLLO LOCAL CONCERTADO SAN SEBASTIAN 2033*.
- Dirección Regional de Agricultura Cusco. (2021). *INVENTARIO DE FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO VILCANOTA AMBITO DE LA ATDR-CUSCO*.
- ECOCE. (2023). *Cifras y estadísticas - ECOCE - Educa verde*.  
[https://www.ecoce.mx/cifras\\_y\\_estadisticas](https://www.ecoce.mx/cifras_y_estadisticas)
- Ecoembes. (2023). *Informe - Resultados del reciclaje de envases domésticos de plástico, metal, brik, madera y papel-cartón en 2022*.
- EcoPlast. (2023). *Plásticos Ecoplast: la búsqueda de un negocio con impacto en el medio ambiente*.  
<https://www.plastico.com/es/noticias/plasticos-ecoplast-la-busqueda-de-un-negocio-con-impacto-en-el-medio-ambiente>
- EMIS. (2023). *Polimeros Y Plasticos Andina S.A.C. (Perú)*. [https://www.emis.com/php/company-profile/PE/Polimeros\\_Y\\_Plasticos\\_Andina\\_SAC\\_es\\_9629893.html](https://www.emis.com/php/company-profile/PE/Polimeros_Y_Plasticos_Andina_SAC_es_9629893.html)
- Equipo editorial de Indeed. (2025). *Perfil del gerente general de una empresa*.
- Fychtech. (2024). *Ftalatos y bisfenoles: reto en el reciclaje de plásticos*.  
<https://www.fychtech.com/ftalatos-y-bisfenoles-reto-en-el-reciclaje-de-plasticos/>
- Gerente Municipal. (2020). *PLAN DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES DEL DISTRITO DE POROYAL 2023*.
- Gexim SAC. (2023). *GEXIM - Sostenibilidad*. <https://gexim.com.pe/sostenibilidad/>
- GREEN, D. W., & PERRY, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8TH EDITION*.
- Green Global Polymers. (2023). *Reciclado de plástico, plástico triturado*.  
<https://www.greenglobalpolymers.es/>
- Grupo AJE. (2024). *Grupo AJE y Línea 1 del Metro de Lima suman 13 puntos de acopio para reciclar botellas PET en las principales estaciones*. <https://www.ajegroup.com/grupo-aje-y-linea-1-del-metro-de-lima-suman-13-puntos-de-acopio-para-reciclar-botellas-pet-en-las-principales-estaciones/>
- Hassan Shah, W. U. (2023). *The Repercussions of Economic Growth, Industrialization, Foreign Direct Investment, and Technology on Municipal Solid Waste: Evidence from OECD Economies*. *Municipal Solid Waste Management and Environmental Sustainability*.  
[https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/836?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/836?utm_source=chatgpt.com)

- Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 364, Issue 1526). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>
- Huaytalla Bellido, D. (2019). *Implementación de un programa de producción más limpia en una planta de reciclaje mecánico de residuos de post-consumo: envases pet - poli (tereftalato de etileno)*.
- Hyundai Perú. (2024). *Vehículos comerciales Hyundai – H100 y Porter*.
- ICEX. (2023). *Economía Circular e Internacionalización - Retos y oportunidades desde una aproximación sectorial*. [www.icex.es](http://www.icex.es)
- INEI. (2018a). *CUSCO - RESULTADOS DEFINITIVOS*.
- INEI. (2018b). *Perú: 2007-2017, Indicadores de Empleo e Ingreso por departamento*. [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)
- INEI. (2023). *Lima - concentración industrial*. <https://www.gob.pe/inei/>
- Inforegión. (2024). *Pamolsa: La empresa peruana que fabrica empaques de alimentos con materiales reciclados*. <https://inforegion.pe/pamolsa-la-empresa-peruana-que-fabrica-empaques-de-alimentos-con-materiales-reciclados/>
- Inmobiliaria Cusco. (2024). *Reporte de precios de terrenos industriales en San Sebastián – Cusco*.
- Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2016). *NTP 399.010-1:2016: Señales de seguridad. Símbolos gráficos y colores de seguridad*.
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). *ISO 14001:2015 – Sistemas de Gestión Ambiental*.
- JMC. (2024). *JMC SOLUCIONES AMBIENTALES*.
- JP Morgan. (2022). *Creating Possibility Annual Report 2022*. <https://www.jpmorganchase.com/content/dam/jpmc/jpmorgan-chase-and-co/investor-relations/documents/annualreport-2022.pdf>
- Kotler, P., & Keller, K. L. (2012). *DIRECCIÓN DE MARKETING*.
- Maestro. (2024). *Archivadores*.
- Ministerio de Cultura. (2020). *RUTAS ANCESTRALES DEL QHAPAQ ÑAN*.
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2012). *Decreto Supremo N.º 005-2012-TR que aprueba el Reglamento de la Ley N.º 29783*.
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2020a). *Guía metodológica para procesos de selección de personal en las organizaciones*.

- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2020b). *Guía para la Implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo en una MYPE*. [www.gob.pe/mtpe](http://www.gob.pe/mtpe)
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2023). *LAS MIPYME EN CIFRAS*.
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (n.d.). *NORMA TECNICA DE EDIFICACION G.050 SEGURIDAD DURANTE LA CONSTRUCCION*. [www.construccion.org](http://www.construccion.org)
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2019). *D.S. N.º 010-2019-VIVIENDA*.
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2021). *CONDICIONES GENERALES DE DISEÑO DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES*.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2024). *Reporte Sectorial Anual 2024*.
- Ministerio del Ambiente. (2009). *Decreto Supremo N.º 019-2009-MINAM*. [www.elperuano.com.pe](http://www.elperuano.com.pe)
- Ministerio del Ambiente. (2017a). *Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM*.
- Ministerio del Ambiente. (2017b). *DECRETO SUPREMO N.º 014-2017-MINAM*. [www.minam.gob.pe](http://www.minam.gob.pe)
- Ministerio del Ambiente. (2017c). *D.S. N.º 003-2017-MINAM*.
- Ministerio del Ambiente. (2017d). *Ley N.º 27314 - Ley General de Residuos Sólidos y su reglamento (D.S. N.º 014-2017-MINAM)*.
- Ministerio del Ambiente. (2017e). *Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos – D.S. N.º 014-2017-MINAM*. [www.minam.gob.pe](http://www.minam.gob.pe)
- Ministerio del Ambiente. (2020a). *Cusco Datos Generales*. [www.minam.gob.pe](http://www.minam.gob.pe)
- Ministerio del Ambiente. (2020b). *DECRETO SUPREMO N.º 001-2020-MINAM*. [www.ana](http://www.ana).
- Ministerio del Ambiente. (2020c). *Guía para la capacitación ambiental en organizaciones*.
- Ministerio del Ambiente. (2021a). *Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental detallados*.
- Ministerio del Ambiente. (2021b). *GUÍA PARA LA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE INSTRUMENTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA INFRAESTRUCTURAS DE RESIDUOS SÓLIDOS*.
- Ministerio del Ambiente. (2021c). *Manual de costos y equipamiento para plantas de tratamiento de aguas residuales*.
- Ministerio del Ambiente. (2024a). *Decreto Supremo N.º 014-2024-MINAM*.
- Ministerio del Ambiente. (2024b). *Residuos Plásticos*.
- Ministerio del Ambiente de Perú. (2024). *SIRGESOL - Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos*. <https://sistemas.minam.gob.pe/SigersolMunicipal/#/accesoLibre/generacion>

- Ministerio del Ambiente del Perú. (2015). *Guía para la formulación de proyectos de inversión pública en residuos sólidos municipales.*
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2021). *INFORME N° 00158-2021-MINAM/VMGA/DGCA.* <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2012). *Fundamentals of engineering thermodynamics (8th ed.).*
- Municipalidad Distrital de San Sebastián. (n.d.). *Mejoramiento del servicio de limpieza pública en los procesos de segregación y valorización en la gestión de residuos sólidos municipales en el distrito de San Sebastián-Provincia Cusco-Departamento Cusco.*
- Municipalidad Distrital de San Sebastián. (2019a). *Ordenanza Municipal N° 024-2019-MDSS.*
- Municipalidad Distrital de San Sebastián. (2019b). *Ordenanza Municipal N.º 025-2019-MDSS: Ordenanza que regula la gestión integral de los residuos sólidos en el distrito de San Sebastián.*
- Municipalidad Distrital de San Sebastián. (2023). *Plan de desarrollo concertado de San Sebastián 2023-2030.*
- Municipalidad Distrital de San Sebastián. (2024). *Decreto de Alcaldía N° 001-2024-AL-MDSS.*
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO-PIGARS. (2020). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES DE LA PROVINCIA DEL CUSCO - PIGARS.*
- Municipalidad Provincial del Cusco. (2023). *Programa Qosqo Recicla: Fomento de la cultura medioambiental y reducción de residuos sólidos en Cusco.* <https://web.cusco.gob.pe/institucion/>
- Naciones Unidas. (n.d.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible.*
- OECD. (2022). *Global Plastics Outlook POLICY SCENARIOS TO 2060.* <https://doi.org/10.1787/aa1edf33-en>
- Paredes Anahua, J. J. (2024). *Diseño de una planta de reciclaje y tratamiento de plásticos de polietileno tereftalato y de polietileno de alta densidad en la Ciudad de Juliaca.*
- Patel, V., & Meka, S. (2007). Forecasting of Municipal Solid Waste Generation for Medium Scale Towns Located in the State of Gujarat, India. In *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO (Vol. 3297, Issue 9).* [www.ijirset.com](http://www.ijirset.com)
- PCM. (2014). *Decreto Supremo N.º 058-2014-PCM.*
- Plásticos Brello. (2018). *PET Tereftalato de polietileno.* <https://plasticos-brello.com/material/pet-tereftalato-de-polietileno/>

- Plastics Technology México. (2023). *Informe Anual de Tendencias Globales de PLASTICS en Plastimagen 2023*. <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/informe-anual-de-tendencias-globales-de-plastics-en-plastimagen-2023>
- Plasticseurope. (2023). *Plastics – the fast Facts 2023*. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>
- Plaz. (2025). *Producto: Materia prima reciclada*. <https://plaz.pe/productos/>
- Ponce, V. M. (2021). *LA MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL*. [https://ponce.sdsu.edu/la\\_matriz\\_de\\_leopold.html](https://ponce.sdsu.edu/la_matriz_de_leopold.html)
- Presidencia de la República del Perú. (2016). *Decreto Supremo N° 005-2012-TR*.
- Promart Homecenter. (2024). *Muebles de oficina y escritorio*.
- Proyecciones y Oportunidades de Inversión en Chile. (2021). *Infraestructura para el Reciclaje: Envases y Embalajes Plásticos*.
- Redson Perú. (2024). *Vehículos Foton – Gama comercial*.
- Sapag Chain, N. (2021). *Preparación y evaluación de proyectos*. [www.FreeLibros.me](http://www.FreeLibros.me)
- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., & Sapag P., J. M. (2021). *PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS*. [www.fullengineeringbook.blogspot.com](http://www.fullengineeringbook.blogspot.com)
- Sarria, J. (2021). *Diseño de una planta de reciclaje de plásticos para una empresa pyme en Lima Metropolitana*.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2025). *Medologías del Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP)*. <https://www.gob.mx/shcp/documentos/medologias-del-centro-de-estudios-para-la-preparacion-y-evaluacion-socioeconomica-de-proyectos-cepep?state=published>
- Shahadat Hossain, & Anisur Rahman. (2020). *Post-consumer PET Bottle Recycling: Chemical Dose Optimization*. <https://scienpg.com/jea/index.php/jea/article/view/19>
- Sodimac Perú. (2024). *Muebles de oficina y escritorio*.
- S&P Global. (2022). *S&P Total Market Index*. <https://www.spglobal.com/spdji/es/indices/equity/sp-total-market-index-tmi/#data>
- Sub Gerencia de Acondicionamiento Territorial - Cusco. (2017). *Censos Nacionales de Población y Vivienda*.
- Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial Provincial - Agua y desagüe. (2017). *MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN LA MUNICIPALIDAD DE CUSCO*.

Sub Gerencia de Ordenamiento Territorial Provincial – energía eléctrica. (2017). *MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN LA MUNICIPALIDAD DE CUSCO*.

Sustainable Materials & Innovation. (2024). *SMI, Sostenibilidad*.  
<https://www.smisolutions.com/noticias/smi-inaugura-planta-de-reciclaje-mas-grande-de-peru-convirtiendose-en-una-de-las-mas-importantes-de-america/>

The World Bank Group. (2024). *World Bank Country and Lending Groups*.  
[https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups?utm\\_source](https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups?utm_source)

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (2010). *Manual on Post-consumer Plastic Waste Recycling*.

Villar Navarro, C. E. (2013). *EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA IMPLEMENTAR UNA PLANTA DE PROCESAMIENTO DE PLÁSTICO RECICLADO EN CHINCHA*.

World Bank WDI and Haver Analytics databases. (2024). *MFMOD Database*.  
[https://thedocs.worldbank.org/en/doc/a42807d60ed756bf79b8bc844db8a6c4-0500032021/related/data-per.pdf?utm\\_source](https://thedocs.worldbank.org/en/doc/a42807d60ed756bf79b8bc844db8a6c4-0500032021/related/data-per.pdf?utm_source)

World Economic Forum, E. M. F. & M. & C. (2016). *The New Plastics Economy - Rethinking the future of plastics*.

WSJ. (2022). *U.S. Treasury Quotes*. <https://www.wsj.com/market-data/bonds/treasuries>

## ANEXOS

## Anexo N° 1

## Composición de residuos sólidos domiciliarios en la Provincia del Cusco –

## SIRGESOL – Ministerio del Ambiente



Residuos Sólidos Domiciliarios	Total (TM/año)				
	2019	2020	2021	2022	2023
Residuos aprovechables					
Residuos Orgánicos					
Residuos de alimentos	55,173.12	51,289.38	46,601.08	31,576.01	50,836.69
Residuos de maleza y poda	2,533.26	2,355.00	2,807.72	2,407.85	2,167.24
Otros residuos orgánicos	3,068.06	2,852.17	2,979.46	2,232.44	2,432.35
Residuos Inorgánicos					
Papel					
Blanco	1,068.19	993.02	1,045.07	630.99	888.03
Periódico	534.80	497.16	528.52	460.62	741.57
Mixto	1,348.26	1,253.38	1,517.69	826.59	1,171.68
Cartón					
Blanco (liso y cartulina)	485.54	451.37	689.61	432.85	571.01
Marrón (Corrugado)	1,486.18	1,381.60	1,729.36	870.76	1,987.41
Mixto	790.94	735.28	918.60	748.35	904.71
Vidrio					
Transparente	1,113.22	1,034.89	1,140.93	720.59	815.73
Otros colores (marrón - ámbar, verde, azul, entre otros)	1,010.49	939.38	1,373.90	979.29	1,572.13
Otros (vidrio de ventana)	92.88	86.35	254.27	122.41	189.10
Plástico					
<b>Tereftalato de polietileno</b>	<b>1871.8</b> <b>(1.9259%)</b>	<b>1740.08</b> <b>(1.9228%)</b>	<b>1937.05</b> <b>(2.0785%)</b>	<b>1393.22</b> <b>(2.2072%)</b>	<b>1701.91</b> <b>(1.8360%)</b>
<b>Polietileno de alta densidad</b>	<b>1317.29</b> <b>(1.3554%)</b>	<b>1224.6</b> <b>(1.3532%)</b>	<b>1172.88</b> <b>(1.2585%)</b>	<b>767.28</b> <b>(1.2156%)</b>	<b>1110.5</b> <b>(1.1980%)</b>
Polietileno de baja densidad	997.82	927.61	721.56	426.54	541.34
<b>Polipropileno</b>	<b>406.72</b> <b>(0.4185%)</b>	<b>378.1</b> <b>(0.4178%)</b>	<b>540.51</b> <b>(0.5800%)</b>	<b>331.9</b> <b>(0.5258%)</b>	<b>370.78</b> <b>(0.3999%)</b>

Residuos Sólidos Domiciliarios	Total (TM/año)				
	2019	2020	2021	2022	2023
Poliestireno	222.36	206.71	407.38	318.01	320.73
Policloruro de vinilo	23.92	22.24	232.97	90.86	244.71
Tetra brik (envases multicapa)	136.51	274.75	577.78	88.33	98.25
Metales					
Lata (Hojalata)	1,534.03	1,427.39	1,224.80	964.15	1,438.65
Acero	140.73	130.83	247.62	99.69	70.44
Fierro	294.14	273.44	531.19	157.74	98.25
Aluminio	133.70	124.29	304.86	137.55	107.52
Otros Metales	150.58	139.99	371.43	291.51	79.71
Residuos no aprovechables					
Bolsas plásticas	3,500.12	3,253.83	3,409.47	2,237.49	2,502.80
Papel higiénico/Pañales/toallas sanitarias	11,693.83	10,870.96	10,497.35	7,950.47	12,011.63
Pilas	81.62	75.88	259.60	195.60	101.96
Tecnopor (poliestireno expandido)	607.98	565.20	801.44	320.54	539.49
Residuos inertes (tierra, piedras, cerámicos, ladrillos y otros)	5,371.93	4,989.99	3,241.73	2,629.96	2,944.04
Textiles (telas)	0.00	0.00	692.27	341.99	226.17
Caucho, cuero, jebe	0.00	0.00	901.29	310.44	64.88
Restos de medicamentos	0.00	0.00	139.78	46.69	76.01
Envolturas de snacks, galletas, caramelos, entre otros	0.00	0.00	632.37	533.81	650.73
Otros residuos no categorizados	0.00	0.00	2,759.80	1,477.77	3,118.31
<b>Total</b>	<b>97,190.02</b>	<b>90,494.87</b>	<b>93,191.34</b>	<b>63,120.29</b>	<b>92,696.46</b>

**Fuente:** *Ministerio del Ambiente de Perú, (2023)*

## Anexo N°2

## Rutas de Recolección de residuos sólidos en la provincia del Cusco – PIGARS



ACTUALIZACIÓN: PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS  
MUNICIPALES DE LA PROVINCIA DEL CUSCO  
2020-2025



Distrito	Nombre de las Zonas Atendidas
<b>Ccorca</b>	Totora
	Cusibamba
	Huayllay
	Ccorca Ayllu
	Ventanayoc Rumaray
	Ccoyac
	Ccorimarca
	Ccpp. Ccorca
	Ccarhuis
	Chuspi
	Urateac
Tamborpucjio	
Quishuarcancha	
<b>Cusco</b>	Ccollasuyo-Ucchullo
	Lucretata-Zaguan Del Cielo
	Av. Ejercito -Carmen Quicllo
	Av. Ejercito -Matara-Pardo
	Villa San Blas - Circunvalación
	Circunvalación -José Escobedo
	Pucyupata-5 De abril
	Pueblo Libre-San Isidro
	Av. De La Cultura Camino Real-Av Argentina
	Arcopata-Panamericana
	Sipaspujio - San Blas
	Recoleta- Collacalle-San Blas
	Saphy-San Cristóbal-Gunter
	Saphy-Sucia-Jardines Del Inca
Rosaspata-CC.-Hospital-Backus	
Ayahuayco - Tica Tica	
Santa Ana- Camino Real-Panamericana	
Lorohuachana-Los Incas Parte Baja	

---

Manantiales -APV Garcilaso  
 Av. Ejercito -Mercado San Pedro  
 Michipata-Ñustas- Nazarenas  
 Awacpinta-Coperativa-Loshuertos  
 Mariscal Gamarra-Manuel Prado  
 Quispicanchi-Magisterio  
 Puntos Críticos  
 Hoteles- Av. Pardo - Tullumayo  
 Av. Ejercito -Tres Cruces-Belén  
 Maruri- Plaza De Armas- San Francisco  
 San Pedro-San Blas

---

Pista principal (camino Cusco - Abancay y viceversa Abancay - Cusco)

30 de agosto

Bosque

Centro Poblado de Poroy

Brisas del Arco - Chuñuna - Bosque parte alta - 30 de agosto  
 parte Alta

Villa las Rocas

Puerto Rico

Agricultores Sin Tierra

**Poroy**

Chichaysuyo

Huampar

Yanamayo/cementerio y comercios aledaños

Grifos del distrito

Templo del Centro Poblado de Poroy

SENCCA

Cruz Verde

Ticahuerta

Ocoscollo

Urubambillayoc

---

Miraflores, Constructores, Villa el Carmen, Urubambilla, Los Cedros, Fray Martin de Porras, Sta Martha, Capullanas, Arovicote, Virgen Asunta, Los Olivos de la Paz, Eden, Banco de Credito, Larapita, Sr. De Huanca, Tingo, tablón niño de Jesús, Monterrico, Prolongación Av. la cultura.

**San  
 Jerónimo**

Colegio Ava, Polipio Umpire, primavera, Presbítero Andrés García, 28 de Julio, Chimpahuaylla, Comunidad de Pallpancay, (solo jueves), Fray Martin de Porras, Virgen del Rosario, Villa el sol, Mercado de Frutas, los pinos.

Altiva Canas, Red de Energía, Patrón San Jeronimo, Nueva Alianza, San Lorenzo, Inticancha, Casuarinas Norte, Villa Los andes, Lucerinas, villa Rinconada, Sta. Barbara, Casuarinas sur,

---

Primero de Junio, Grifo Sta. Elena, Maestro, Berma Central, Inticancha, San Lorenzo, APV 1° de junio.

Mercado Vinocanchon, Penal de Varones. (solo puerta principal), Penal de Mujeres, Instituciones, Berma Central, Los Cipreses de Versalles, Alboreda, terrazol, APV la Molina, Villa el Carmen de Versalles, Portales de Versalles, Los Kantus de Larapa, Manzana F.

Larapita, Praderas del Sur, Fedatarios Larapa, Machu Picol, Huayna Picol, Berma y Plaza. Avenida cinco, Avenida dos, Avenida tres, residencial Jardines de Larapa, Fedatarios, Condominio las Rocas, Covipona, Avenida Uno, Colegio de Ingenieros, Universidad Andina, prolongación Av. La Cultura.

Prolongación Calle Lima Plazoleta 2 de noviembre, bajar por calle Llocllpata, Allpa Orcona, Triunfadores, Retamales, Cochapampa, la Victoria, APV Uvima XIII, Los Lideres. Calle 24 de Junio, Hospital, Almudena, Condominio Buena Vista, Prolong. Tupac Amaru, El Bosquecito.

Mercado Vinocanchon, Fundo Acoyoc, Tambillo, la encantada, Prolongación Mancco Ccapac, Ccollana, Anden-Anden, Chahuancosco, U. Andina, termina en planta de seda Cusco, Berma central, sector Wiracochan.

Corisonqo, Buena Vista, Rumitabla, San Isidro (mi Perú y Uvima), Berma y Plaza. Anden-Anden

Mercado Vinocanchon, Detrás de la Derrama Magisterial, Sector Tancarapata, Derrama Magisterial, Calle los Geranios, Todo Romeritos, incluido las canastas al final de transportes de Ttio la Florida.

Control San Jeronimo, Toda la Av. Mancco Capac, Pampa Chacra, los Álamos, los Cipreses, los Nogales, Meza Redonda, Granja Kayra, San Isidro, Uvima XII, Prolong. Mi Peru Colegio Isaiah Bowman Shants, altura de la derrama Magisterial, Prolong. Peru.

Calle Peru, Llocllapata, Ramon Castilla, Coronel la Torre, San Martin, Plaza de Armas, Colegio Fe y Alegría, Berma Central, Universidad Andina.

Picol Mojompata, Villa Los Pinos, los Jardines de Versalles, Juan Pablo II, Prado de Versalles, Calle San Francisco, Aurora Ruiz Caro, Kantu de Versalles, La Kantuta, Huayllar, San Juan de Dios, Junta de Propietarios de Parustaca.

---

Zona I URB. La Planicie, Cachimayo, APV. Luzmila del Solar

Zona II Naciones Unidas, Quipiquilla

Zona III Av. De la Cultura, Parte 2/3

Zona IV Centro Histórico, Calle Cusco, Calle Alonso y Plaza Central

Zona V Urb. Coviduc, APV. Sol de Oro, Urb. Santutis Chico, Urb. Tenería

Zona VI Av. La Cultura Parte 1/3

Zona VII Margen Derecha, Urb. Los Nogales, Urb. Surihuaylla Grande

Zona VIII Urb. Cari Grande, APV. Las Lomas, Asoc. Villa Las Palmeras, AVP Las Américas

---

**San  
Sebastián**

Zona IX Urb. Flor de la Cantuta, APV. Miguel Grau, APV. Los  
Ángeles, APV. Bellavista APV. Vallecito

Zona X Wispampa, Los Perales, Av. Cusco

ZONA XI Vía de Evitamiento, APV. Virgen del Carmen, APV. Simón Herrera, Urb. Los  
Retamales

Zona XII Urb. Vista Alegre

Zona XIII Centro Histórico, Calle Bolívar, Calle Diego de Almagro,  
Calle Garcilaso de la Vega

Zona XIV Av. De la Cultura parte 3/3

Zona XV Urb. Santa Rosa y Comités

Zona XVI APV. Camino Real, APV. Independencia, Urb. Sauces de la  
Pradera

Zona XVII Licenciados, Niño de Praga, Residencial la Campiña

Zona XVIII Inca Wasi, Yacanora alta y baja

Otras Zonas Tupac Amaru

Rosaura, general Ollanta, Cesar Vallejo, Viva el Peru I-II

Mancco Ccapac, Pequeños Agricultores Manco Ccapac  
Cañibamba, Virgen Rosario, Chocco y Tiobamba

La perla, El Olivo, Coripata, Abelardo Ugarte, El Rosal,  
Dolores pata, Amadeo Repeto y Pj. Santiago

Manahuañunca, Estrella I-II etapa, Luis Vallejo Santoni, Villa  
Huancaro, Tincoc, Chaclacayo

Manahuañunca, Coop. Viv. Manahuanunnca I-II etapa,  
Illareq, Barrio de Dios, Valle hermosa

Virgen Concepción, Hnos. Ayar, La Pradera, La pradera alta,  
Los jardines

**Santiago** Las Malvinas, Bancopata, Vallecito Huancaro

Ramiro Priale, Ejercito cuartel, Villa militar

Dignidad Nacional, Ruiz Caro, Coop. Bolognesi, Kantoc,  
Zarzuela alta

Belén, Unid Vec. Santiago, 7 mascarones, Villa el Sol

Primavera, Coripata Sur, Dolores pata, Nuevas Américas,  
Residencial Huancaro

Primavera, Coripata Sur, Dolores pata, Nuevas Américas,  
Residencial Huancaro

Ñiwapampa, Juan Espinoza Medrano

Erapata, Victor, Guadalupe, Valle Hermosa, Barrio de dios,  
Valle hermosa, Mercado Huancaro

**Saylla**

Ferrovianos

Saylla, av. Cusco

Chingo grande  
 Saywa  
 Angostura antigua  
 Angostura nueva  
 Condebamba alta  
 Condebamba baja  
 Condebambilla  
 Saylla, centro  
 Exin  
 Santa Bárbara

---

Av. Los Incas, Av. Pedro Vilca Apaza, CC.HH Pachacutecq, Urb. Marcavalle, Av. Tacna, Av. Huayna Capac, Jr. Retiro, Urb. Fideranda, Urb. Cuatro Torres

Plaza Tupac Amaru, Av Tomasa Ttito, Diagonal Angamos, Urb. Santa Mónica, Av. Huáscar, Av. Infancia, Urb. Santa Teresa, Urb. Los Sauces. Urb. Mateo Pumacahua, Urb. San Borja

Av. Micaela Bastidas, Urb Santa Mónica (Av. Ciro Alegría, Av. José Carlos Mariátegui, Av. Antonio Raimondi), Urb. San

Francisco, Prolg. Av. Los Incas, Av. Primavera, Urb. Santa Úrsula, Urb. Progreso

Av. La Cultura, Av. Confraternidad, CCHH. Los Álamos, CCHH. Los Alborada, Av. Tullumayo, Centro Artesanal, CCHH. Amauta, Urb. Villa Periodista, Urb. Cerveceros, Urb. Progreso, Av. Tupac Amaru.

Condominio Ingenieros, Calle Arcopunco, Av. Huáscar, CCHH. Huáscar, Urb. José Carlos Mariátegui

Av. Garcilaso, Urb. Los Pinos, Urb. Los Jardines

### **Wánchaq**

Av. Velasco Astete, Av. Jorge Chavez, Parque Industrial (Av. República de Uruguay), Urb. Entel Peru, Urb. Santa Beatriz, Urb. Morales Bermúdez

Urb. Capac Yupanqui, CCHH. Hilario Mendívil, Av. Peru, Av. Qosqo, Urb. La florida, Av. 28 de Julio, Urb. Kennedy A, Av. La Cultura, Urb. La Colina

Urb. Kennedy B, Jr. Unión, Av. Costanera, Urb. Los Álamos, Urb. Parque Industrial, Urb. Progreso (Jr. Chumbivilcas, Jr.

Limatambo, Jr. Izcuchaca, Jr. Espinar, Jr. Calca, Jr. San Sebastián)

Mercado de Ttio, APV. Daniel Paiva, APV. Vallecito, APV.

Simón Herrera Farfán, Av. Republica de Bolivia, PRONAA, Urb. Progreso (Jr. Canas, Jr. Libertad)

APV. Reina de Belén, Av. Republica de Paraguay, Av. Justicia, Av. Convención, Urb. San Judas Chico, Urb Señor de los Milagros

Av. República de Venezuela, Av. Republica de Argentina, Vía Expresa

---

*Fuente: MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CUSCO-PIGARDS (2020)*

## APÉNDICES

### Apéndice N° 1

#### Cuestionario a operadores en San Antonio y Cusco Recicla

## Encuesta para el Estudio de Prefactibilidad de una Planta Recicladora de Plásticos en Cusco

*Esta encuesta tiene carácter académico, en apoyo a nuestro trabajo de investigación para la Titulación en la profesión de Ingeniería Petroquímica - Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - UNSAAC*

*Título del trabajo de Investigación: "ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA RECICLADORA DE PLÁSTICOS EN LA PROVINCIA DE CUSCO"*

*Tipos de Scrap Plástico que ofreceremos: PET, PP y PEAD*

**Su participación contribuirá significativamente a la viabilidad y éxito de este proyecto, y apreciamos cualquier recomendación o apoyo que puedan brindar.**

**Autores:**

**Laxmi Tairo Gomez - DNI: 73947569**

**Enrique Marcial Rozas Villasante - DNI: 74882098**

**1. ¿Cuántas toneladas de residuos plásticos recolectan aproximadamente al mes?**

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**2. ¿Qué tipos de plásticos recolectan con mayor frecuencia? (por ejemplo: PET, PEAD, PP, otros)**

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**3. ¿Realizan algún tipo de tratamiento al material antes de venderlo?**

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**4. ¿Realizan separación por tipo de plástico? ¿Cómo la hacen?**

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**5. ¿A quién o a qué empresas venden los residuos plásticos?**

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**6. ¿Cuál es el precio promedio por tonelada del plástico prensado que venden?**

Tu respuesta \_\_\_\_\_

**7. ¿Qué apoyo necesitarían para mejorar su labor como recolectores o clasificadores?**

Tu respuesta \_\_\_\_\_

## Apéndice N° 2

### Servicio a la Deuda

Mensual	Deuda capital (S/)	Cuotas (S/)	Intereses (S/)	Amortización (S/)	Saldo (S/)
1	2,132,625.76	213,262.58	0.00	213,262.58	1,919,363.19
2	1,919,363.19	43,224.43	19,193.63	24,030.80	1,895,332.38
3	1,895,332.38	43,224.43	18,953.32	24,271.11	1,871,061.27
4	1,871,061.27	43,224.43	18,710.61	24,513.82	1,846,547.45
5	1,846,547.45	43,224.43	18,465.47	24,758.96	1,821,788.50
6	1,821,788.50	43,224.43	18,217.88	25,006.55	1,796,781.95
7	1,796,781.95	43,224.43	17,967.82	25,256.61	1,771,525.33
8	1,771,525.33	43,224.43	17,715.25	25,509.18	1,746,016.15
9	1,746,016.15	43,224.43	17,460.16	25,764.27	1,720,251.88
10	1,720,251.88	43,224.43	17,202.52	26,021.91	1,694,229.97
11	1,694,229.97	43,224.43	16,942.30	26,282.13	1,667,947.83
12	1,667,947.83	43,224.43	16,679.48	26,544.95	1,641,402.88
13	1,641,402.88	43,224.43	16,414.03	26,810.40	1,614,592.47
14	1,614,592.47	43,224.43	16,145.92	27,078.51	1,587,513.97
15	1,587,513.97	43,224.43	15,875.14	27,349.29	1,560,164.67
16	1,560,164.67	43,224.43	15,601.65	27,622.79	1,532,541.89
17	1,532,541.89	43,224.43	15,325.42	27,899.01	1,504,642.87
18	1,504,642.87	43,224.43	15,046.43	28,178.00	1,476,464.87
19	1,476,464.87	43,224.43	14,764.65	28,459.78	1,448,005.08
20	1,448,005.08	43,224.43	14,480.05	28,744.38	1,419,260.70
21	1,419,260.70	43,224.43	14,192.61	29,031.83	1,390,228.87
22	1,390,228.87	43,224.43	13,902.29	29,322.14	1,360,906.73
23	1,360,906.73	43,224.43	13,609.07	29,615.37	1,331,291.36
24	1,331,291.36	43,224.43	13,312.91	29,911.52	1,301,379.84
25	1,301,379.84	43,224.43	13,013.80	30,210.63	1,271,169.21
26	1,271,169.21	43,224.43	12,711.69	30,512.74	1,240,656.47
27	1,240,656.47	43,224.43	12,406.56	30,817.87	1,209,838.60
28	1,209,838.60	43,224.43	12,098.39	31,126.05	1,178,712.55
29	1,178,712.55	43,224.43	11,787.13	31,437.31	1,147,275.24
30	1,147,275.24	43,224.43	11,472.75	31,751.68	1,115,523.56
31	1,115,523.56	43,224.43	11,155.24	32,069.20	1,083,454.36
32	1,083,454.36	43,224.43	10,834.54	32,389.89	1,051,064.47
33	1,051,064.47	43,224.43	10,510.64	32,713.79	1,018,350.69

34	1,018,350.69	43,224.43	10,183.51	33,040.93	985,309.76
35	985,309.76	43,224.43	9,853.10	33,371.34	951,938.42
36	951,938.42	43,224.43	9,519.38	33,705.05	918,233.38
37	918,233.38	43,224.43	9,182.33	34,042.10	884,191.28
38	884,191.28	43,224.43	8,841.91	34,382.52	849,808.76
39	849,808.76	43,224.43	8,498.09	34,726.35	815,082.41
40	815,082.41	43,224.43	8,150.82	35,073.61	780,008.80
41	780,008.80	43,224.43	7,800.09	35,424.35	744,584.45
42	744,584.45	43,224.43	7,445.84	35,778.59	708,805.87
43	708,805.87	43,224.43	7,088.06	36,136.37	672,669.49
44	672,669.49	43,224.43	6,726.69	36,497.74	636,171.75
45	636,171.75	43,224.43	6,361.72	36,862.72	599,309.04
46	599,309.04	43,224.43	5,993.09	37,231.34	562,077.69
47	562,077.69	43,224.43	5,620.78	37,603.66	524,474.04
48	524,474.04	43,224.43	5,244.74	37,979.69	486,494.35
49	486,494.35	43,224.43	4,864.94	38,359.49	448,134.86
50	448,134.86	43,224.43	4,481.35	38,743.08	409,391.77
51	409,391.77	43,224.43	4,093.92	39,130.52	370,261.26
52	370,261.26	43,224.43	3,702.61	39,521.82	330,739.43
53	330,739.43	43,224.43	3,307.39	39,917.04	290,822.40
54	290,822.40	43,224.43	2,908.22	40,316.21	250,506.19
55	250,506.19	43,224.43	2,505.06	40,719.37	209,786.81
56	209,786.81	43,224.43	2,097.87	41,126.57	168,660.25
57	168,660.25	43,224.43	1,686.60	41,537.83	127,122.42
58	127,122.42	43,224.43	1,271.22	41,953.21	85,169.21
59	85,169.21	43,224.43	851.69	42,372.74	42,796.47
60	42,796.47	43,224.43	427.96	42,796.47	0.00
Total	65,220,463.56	2,763,504.14	630,878.38	2,132,625.76	63,087,837.80

### Apéndice N° 3

## Cotización de Equipos y Maquinarias en empresa KOOEN MACHINERY CO., LTD

### Maquinaria para la línea de PET

#### Mesa de clasificación manual

**Descripción** Transporte utilizado para clasificar los residuos reciclables mientras avanzan por la faja.

	<b>Datos técnicos</b>
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 2,100.00
<b>Largo</b>	6 m
<b>Ancho</b>	0.8 m
<b>Material</b>	PVC
<b>Potencia (kW)</b>	2



#### Trommel

**Descripción** Separación automática de impurezas, por ejemplo, arena, metal, tapas, etc.

	<b>Datos técnicos</b>
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 8,600.00
<b>Largo</b>	4.5 m
<b>Diámetro</b>	1.5 m
<b>Material</b>	Chapa perforada, tratamiento galvanizado
<b>Potencia (kW)</b>	4
<b>Velocidad rotación</b>	130rpm



#### Transportadora de Banda

**Descripción** Sistema de transporte de los plásticos segregados.

	<b>Datos técnicos</b>
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 2,000.00
<b>Largo</b>	5 m
<b>Ancho</b>	1.25 m
<b>Altura</b>	1 m
<b>Potencia (kW)</b>	1.5



**Velocidad rotación** 130rpm

### Separador de Etiquetas

**Descripción** De acero de tungsteno, extraíble

**Datos técnicos**

**Capacidad** 1000 kg/h

**Precio** S/ 7,600.00

**Largo** 5 m

**Ancho** 1.8 m

**Altura** 3.8 m

**Potencia del motor(kW)** 12

**Potencia de ventilador (kW)** 3

**Diámetro del rodillo** 0.4 m

**Longitud del rodillo** 3.8 m

**Velocidad del rotor** 400 rpm

**Eficiencia** 99 %



### Molino

**Descripción** Modelo SWP-1200, material del cuchillo SKD-11, resistente a la corrosión

**Datos técnicos**

**Capacidad** 1000 kg/h

**Precio** S/ 12,500.00

**Potencia el motor (kW)** 22

**Cantidad de cuchillas** 10 piezas

**Diámetro de rotación** 0.62 m

**Tamaño de la malla de tamiz** 10 mm

**Motor de accionamiento automático (kW)** 1.5



---

### Transportadora de Tornillo

---

<b>Descripción</b>	Acero inoxidable (SUS304), espesor superior a 3mm, motor Siemens
	<b>Datos técnicos</b>
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 3,000.00
<b>Longitud</b>	5 m
<b>Potencia (kW)</b>	2.2
<b>Diámetro</b>	0.48 m




---

### Lavadora Caliente

---

<b>Descripción</b>	Hecho a base de material de conservación térmica alrededor de la máquina. Tipo de calefacción: Calefacción eléctrica, calefacción a gas
	<b>Datos técnicos</b>
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 7,400.00
<b>Volumen</b>	5 m <sup>3</sup>
<b>Potencia motora de agitación (kW)</b>	7.5
<b>Diámetro el cañón</b>	1.8 m




---

### Secadora

---

<b>Descripción</b>	De acero inoxidable
	<b>Datos técnicos</b>
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 3,000.00
<b>Longitud</b>	20 m
<b>Potencia de calefacción (kW)</b>	12
<b>Potencia del motor el ventilador (kW)</b>	2
<b>Diámetro de la tubería</b>	0.219 m




---

### Tolva de almacenamiento

---

	Silo de almacenamiento para hojuelas
<b>Descripción</b>	De acero inoxidable Dos salidas para colocar bolsas grandes en la parte inferior
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 1,400.00
<b>Volumen</b>	1.5 m <sup>3</sup>
<b>Potencia del motor del soplador de carga (kW)</b>	4
<b>Diámetro de la tubería</b>	0.219 m




---

#### Armario de control

---

<b>Descripción</b>	Contactor Scheneider Controlador de temperatura <b>Tejido inversor</b>
<b>Precio</b>	Motor Siemens S/ 7,000.00




---

#### Afiladora de cuchillos

---

<b>Longitud</b>	1.2 m
<b>Ancho</b>	0.65 m
<b>Altura</b>	1.29 m
<b>Peso</b>	150 kg
<b>Rango de trabajo</b>	0-700 mm
<b>Angulo de trabajo</b>	0-90 °
<b>Precio</b>	S/ 1,500.00



---

### Enjuague

---

<b>Descripción</b>	Motor Siemens
	<b>Datos técnicos</b>
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 4,500.00
<b>Largo</b>	5 m
<b>Ancho</b>	1.7 m
<b>Altura</b>	2 m
<b>Potencia</b>	2.2




---

### Separador por densidad

---

<b>Descripción</b>	Motor Siemens
	<b>Datos técnicos</b>
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 8,600.00
<b>Largo</b>	5 m
<b>Ancho</b>	1.7 m
<b>Altura</b>	2 m
<b>Potencia (kW)</b>	2.2



### Maquinaria para Línea de PP y PEAD

---

#### Mesa de clasificación manual

---

<b>Descripción</b>	Transporte utilizado para clasificar los residuos reciclables mientras avanzan por la cinta
	<b>Datos técnicos</b>
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 2,100.00
<b>Largo</b>	6 m
<b>Ancho</b>	0.8 m
<b>Material</b>	PVC
<b>Potencia (kW)</b>	2




---

#### Molino

---

**Descripción** Modelo SWP-1200, material del cuchillo SKD-11, resistente a la corrosión

<b>Datos técnicos</b>	
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 10,000.00
<b>Potencia el motor (kW)</b>	22
<b>Cantidad de cuchillas</b>	10 piezas
<b>Diámetro de rotación</b>	0.62 m
<b>Tamaño de la malla de tamiz</b>	12 mm
<b>Motor de accionamiento automático (kW)</b>	1.5



### Transportadora de Banda

**Descripción** Equipado con tira antipolvo, la correa cuenta con soporte de rodillos, el material del cinturón (PVC)

<b>Datos técnicos</b>	
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 1,800.00
<b>Longitud</b>	6.5 m
<b>Ancho</b>	0.8 m
<b>Altura</b>	Ajustable
<b>Potencia (kW)</b>	1.5
<b>Velocidad Transporte</b>	1-10 m/min



### Lavadora Caliente

**Descripción** Equipado con detector de nivel de agua  
Diseño de fondo cónico para fácil de drenar

<b>Datos técnicos</b>	
<b>Capacidad</b>	1000 kg/h
<b>Precio</b>	S/ 7,400.00
<b>Longitud</b>	4.5 m
<b>Ancho</b>	1.5 m



Potencia motora de agitación (kW)	6
Cantidad de rodillos	4

### Transportadora de Tornillo

#### Descripción

Acero inoxidable (SUS304),  
espesor superior a 3mm  
de drenaje descendente



#### Datos técnicos

Capacidad	1000 kg/h
Precio	S/ 2,900.00
Largo	4 m
Potencia (kW)	2.2
Diámetro	0.32 m

### Enjuague

#### Descripción

Motor Siemens

#### Datos técnicos

Capacidad	1000 kg/h
Precio	S/ 4,500.00
Largo	5 m
Ancho	1.7 m
Altura	2 m
Potencia (kW)	2.2



### Secadora

#### Descripción

De acero inoxidable

#### Datos técnicos

Capacidad	1000 kg/h
Precio	S/ 3,000.00
Longitud	20 m
Potencia de calefacción (kW)	5
Potencia del motor el ventilador (KW)	5
Diámetro de la tubería	168 mm



---

**Tolva de almacenamiento**


---

**Descripción** Silo de almacenamiento para  
Hojuelas  
De acero inoxidable  
Dos salidas para  
colocar bolsas  
grandes en la parte  
inferior


**Datos técnicos**

**Capacidad** 1000 kg/h  
**Precio** S/ 900.00  
**Volumen** 1.5 m<sup>3</sup>  
**Potencia del motor del soplador de carga (kW)** 4

---

**Armario de control**


---

**Descripción** Contactor Scheneider  
Controlador de temperatur  
Tejido inversor  
Motor Siemens

**Precio** S/ 4,000.00




---

**Afiladora de cuchillos**


---

**Longitud** 1.2 m  
**Ancho** 0.65 m  
**Altura** 1.29 m  
**Peso** 150 kg  
**Rango de trabajo** 0-700 mm  
**Angulo de trabajo** 0-90 °  
**Precio** S/ 1,500.00



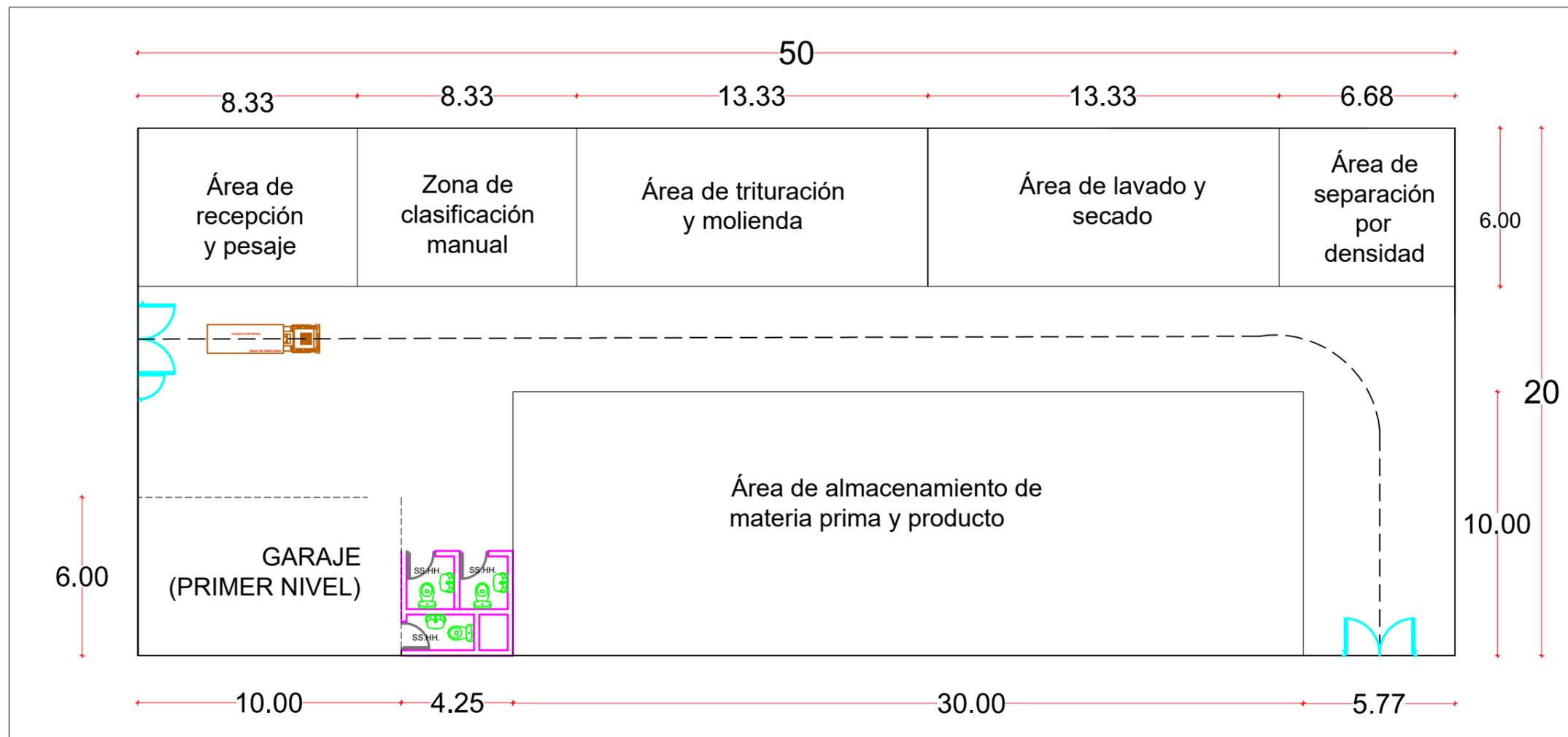
## Apéndice N° 4

### Matriz de identificación de impactos sociales del proyecto de planta recicladora

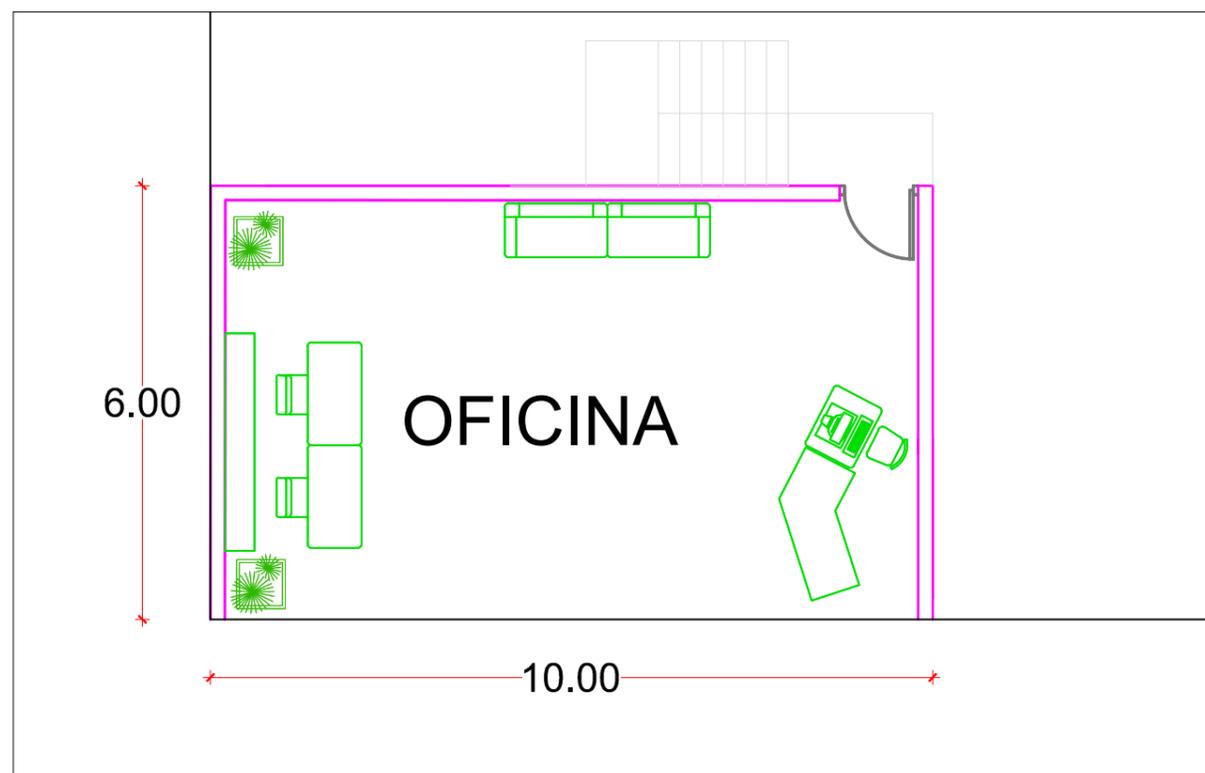
Fase del proyecto	Impacto social identificado	Tipo de impacto	Magnitud	Duración	Probabilidad	Observaciones
Construcción	Generación de empleo en obra	Positivo	Media	Corta	Alta	Mano de obra para infraestructura y logística inicial
Construcción	Percepción negativa por ruidos o tránsito	Negativo	Baja	Corta	Media	Puede mitigarse con comunicación y horarios adecuados
Operación	Inclusión de recicladores informales	Positivo	Alta	Larga	Alta	Mejora de ingresos y formalización de actividades
Operación	Riesgo de exclusión de recicladores	Negativo	Media	Larga	Media	Requiere estrategias de inclusión y acompañamiento social
Operación	Generación de empleo formal	Positivo	Alta	Larga	Alta	Puestos estables en planta y logística
Operación	Dinamización económica local	Positivo	Media	Larga	Alta	Se activan proveedores de servicios e insumos locales
Operación	Percepción negativa por olores o visuales	Negativo	Baja	Larga	Baja	Dependerá del diseño de la planta y su mantenimiento
Operación	Campañas de educación ambiental	Positivo	Media	Larga	Alta	Mejora la cultura ambiental en la población
Cierre (hipotético)	Pérdida de empleos y servicios asociados	Negativo	Media	Corta	Baja	Solo ocurriría si el proyecto cesa sin plan de cierre adecuado

**Apéndice N° 5**

**Plano de distribución de la planta**



**PRIMER NIVEL**  
**ESC.: 1/200**



**SEGUNDO NIVEL**  
**ESC.: 1/100**

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO	
	PROYECTO DE TESIS: "PLANTA RECICLADORA DE PALSTICO EN LA PROVINCIA DEL CUSCO"	
	PLANO:	DISTRIBUCION DE AREAS DE LA PLANTA
	ASESORA:	Dra. Amanda Rosa Maldonado Farfan
AUTORES:	Enrique Marcial Rozas Villasante Laxmi Tairo Gomez	
UBICACIÓN:	DISTRITO : SAN SEBASTIAN PROVINCIA : CUSCO DEPARTAMENTO : CUSCO	
FECHA:	JULIO 2025	
LAMINA:	P-01	
ESCALAS:	INDICADAS	