



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MANIZALES

Diseño de una red de logística inversa para envases de Tetra Pak® en la ciudad de Manizales

Design of a reverse logistics network for Tetra Pak® cartons in Manizales city

Mariana Prieto Montoya

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Programa de Maestría de Profundización en Ingeniería – Ingeniería industrial
Manizales, Colombia
2016

Diseño de una red de logística inversa para envases de Tetra Pak® en la ciudad de Manizales

Design of a reverse logistics network for Tetra Pak® cartons in Manizales city

Mariana Prieto Montoya

Trabajo final presentado como requisito para optar al título de:
Magíster en Ingeniería – Ingeniería Industrial

Director:
Magíster en Física, Ingeniero Industrial Luis Edgar Moreno Montoya

Línea de Profundización en Ingeniería Industrial

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Programa de Maestría de Profundización en Ingeniería – Ingeniería industrial
Manizales, Colombia
2016

Resumen

El alto nivel de consumo de la sociedad actual ha llevado a una creciente generación de residuos de todo tipo, lo que a su vez ha generado un deterioro medioambiental progresivo, dado que el nivel de aprovechamiento no compensa los niveles de generación. En Colombia, si bien existe una legislación para buscar el aprovechamiento de los residuos, se evidencia que no es llevado a la práctica con rigor. Por ello, se ha perdido en gran medida la oportunidad de generar valor y a la vez disminuir el impacto ambiental a partir del aprovechamiento de los residuos que se generan. Este trabajo se concentra en estudiar cómo en la ciudad de Manizales es posible aportar a la disminución del impacto ambiental por la generación de residuos de envases de Tetra Pak®, dada la oportunidad latente de generar valor a partir de este residuo en Colombia. Ello se dará gracias al diseño de una red de logística inversa que permita la recolección y alistamiento de este tipo de residuos para su posterior aprovechamiento en plantas a nivel nacional que se dedican a la producción de materiales derivados.

Palabras clave: *Logística inversa, residuos de Tetra Pak®, generación de valor.*

Abstract

The high consumption levels in our current society has led to an increasing waste generation, which has consequently generated a progressive environmental damage as the recovery levels do not compensate generation levels. In Colombia, even though there is a legislation striving to increasing waste recovery, it is not properly applied. Thus, the opportunity of value generation and environmental impact decrease by recovering waste has been lost in great measure. This work is focused on studying how in Manizales city it is possible to contribute to the environmental impact decrease due to Tetra Pak® waste generation, given the unrealized opportunity of value generation through the recovery of this specific waste in Colombia. This will be possible thanks to the design of a reverse logistics network that allows gathering this material in order to prepare it to be processed in different plants around the country that are dedicated to the production of byproducts.

Keywords: *Reverse logistics, Tetra Pak® waste, value generation.*

Contenido

Lista de Figuras	IX
Lista de tablas	X
Introducción	1
Antecedentes.....	3
Modelo brasileño de gestión de Residuos	3
Logística inversa del Tetra Pak® en Brasil.....	5
Gestión de residuos sólidos en Colombia	8
Formulación del problema de ingeniería	13
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Justificación.....	17
Marco Teórico	19
Concepto de Logística	19
Tipos de Logística.....	20
Logística inversa	20
Tipos de Logística Inversa.....	21
Logística inversa de empaques	22
Cadenas de suministro de reversa, cadenas de suministro de ciclo cerrado y cadenas de suministro verde.....	24
Residuo	26
Clasificación de los residuos	26
El Tetra Pak®	26
Composición del Tetra Pak®.....	27
Usos del Tetra Pak®	27
Clasificación del Tetra Pak® como residuo	27
Logística inversa de residuos sólidos urbanos no peligrosos.....	28
Aprovechamiento de los envases de Tetra Pak®	29
Marco de Referencia.....	31

Capítulo I: Estrategia de recolección de envases	33
1.1. Planteamiento de alternativas de recolección de envases de Tetra Pak®	34
1.1.1. Aplicación de encuesta	34
1.1.2. Resultados obtenidos de la encuesta.....	35
1.1.3. Alternativas de recolección de envases de Tetra Pak®	41
1.2. Análisis y elección de alternativa de recolección de envases de Tetra Pak®	43
Capítulo II: Proceso de alistamiento de los residuos de Tetra Pak®	47
2.1. Producto final requerido.....	47
2.2. Proceso productivo	49
2.2.1. Operación 1: Pesaje e identificación	50
2.2.2. Operación 2: Separación de otros residuos	51
2.2.3. Operación 3: Compactado	52
2.2.4. Operación 4: Almacenamiento.....	53
2.3. Capacidad productiva del centro de acopio	56
Capítulo III: Localización y Análisis de viabilidad económica	57
3.1. Métodos de localización	57
3.2. Análisis de localización.....	58
3.2.1. Elección de localización	58
3.3. Análisis de viabilidad económica del proyecto.....	59
3.3.1. Costos fijos asociados al proyecto	59
3.3.2. Costos variables asociados al proyecto	60
3.3.3. Viabilidad Económica del proyecto.....	60
3.3.4. Alternativas adicionales de recolección de residuos de Tetra Pak®	62
3.3.5. Análisis de flujo de efectivo y Tasa Interna de Retorno (TIR)	62
Conclusiones.....	69
Recomendaciones.....	71
Anexos.....	73
Bibliografía.....	89

Lista de Figuras

Figura 1- Proceso básico de recuperación del Tetra Pak® en Brasil.....	7
Figura 2- Subproceso de recolección selectiva de Tetra Pak® en Brasil.....	8
Figura 3 - Proporción de recuperación de envases de Tetra Pak® por año en Colombia	10
Figura 4 - Actores en la cadena de logística inversa.....	34
Figura 5 – Promedio de estudiantes por institución educativa que consume bebidas envasadas en Tetra Pak®.....	36
Figura 6- Proporción de estudiantes que consumen la totalidad de la bebida	37
Figura 7- Forma más habitual de disposición del residuo de Tetra Pak® en el lugar de estudios	37
Figura 8 - Proporción de estudiantes dispuestos a contribuir con la correcta disposición de residuos de Tetra Pak®	38
Figura 9 - Proporción de estudiantes en cuyos hogares se consumen bebidas envasadas en Tetra Pak®	39
Figura 10 - Intención de contribución de los estudiantes con la recolección de envases de Tetra Pak® en los hogares para disponerlos en el lugar de estudios.....	40
Figura 11- Diagrama de precedencia del proceso de alistamiento de residuos de Tetra Pak®	49
Figura 12- Vista superior layout de la Operación 1: Pesaje e Identificación.....	50
Figura 13- Vista superior layout operación 2: Separación	52
Figura 14- Vista superior layout operación 3: Compactado	53
Figura 15 – Vista superior layout operación 4: Almacenamiento	54
Figura 16 - Distribución en planta proceso completo de alistamiento de residuos de Tetra Pak®.....	55

Lista de tablas

Tabla 1 - Categorías y clasificación de los residuos	26
Tabla 2 - Clasificación del Tetra Pak® como residuo.....	28
Tabla 3 - Promedio de bebidas envasadas en Tetra Pak® consumidas por estudiante por semana.....	36
Tabla 4 - Promedio de bebidas envasadas en Tetra Pak® consumidas por hogar por semana	39
Tabla 5 - Volumen de residuo de Tetra Pak® producido en las instituciones de la ciudad de Manizales	40
Tabla 6 - Escenarios en los que se puede encontrar el residuo de Tetra Pak®	41
Tabla 7 - Alternativas de recolección de envases de Tetra Pak® en las instituciones educativas de Manizales	42
Tabla 8 - Descripción Alternativa A para la recolección de envases.....	43
Tabla 9 - Descripción Alternativa B para la recolección de envases.....	44
Tabla 10 - Descripción Alternativa C para la recolección de envases	45
Tabla 11 - Alternativas de alistamiento de residuo de Tetra Pak®	48
Tabla 12 - Recursos requeridos para la operación de Pesaje e Identificación	50
Tabla 13 - Recursos requeridos para la operación de Separación	51
Tabla 14 - Recursos requeridos para la operación de Compactado	52
Tabla 15 - Recursos requeridos para la operación de Almacenamiento	53
Tabla 16 - Resumen de costos asociados al proceso de alistamiento del residuo de Tetra Pak®.....	56
Tabla 17 - Análisis de alternativas de localización	59
Tabla 18 - Flujo de Efectivo y TI para 336.000 kg de material facturado por año.....	64
Tabla 19 - Flujo de Efectivo y TIR para 384.000 kg de material facturado al año	65
Tabla 20 - Proyección de inventarios de MP y PT para el primer año de operación.....	67

Introducción

Dentro de las diferentes estrategias competitivas que utilizan las empresas hoy en día con el fin de ganar mayor mercado y hacer un uso más eficiente de los recursos se encuentra el manejo de la logística de forma integral, permitiendo maximizar la calidad del servicio al consumidor sin perder de vista la importancia de mantener los costos, o preferiblemente, hacer que disminuyan (Inza, 2006). Para ello, la logística ha evolucionado desde ser inicialmente concebida como un proceso de distribución de bienes hacia un cliente final, pasando a convertirse en toda una gestión de cadenas de suministro y hasta llegar a la necesidad de implementar la logística inversa de los desechos generados por el proceso productivo y los productos que entran en desuso al llegar al final de su vida útil, con el fin de reutilizar los materiales que los componen y aportar al medio ambiente (García, 2006). Este nuevo enfoque se conoce como logística inversa y nace a partir de dos enfoques:

- a. **Económico:** Busca reducir los costos de producción gracias al reaprovechamiento de los residuos derivados del proceso productivo, como también aquellos que se generan posterior a la vida útil de producto, lo cual impacta el proceso productivo haciéndolo más eficiente.
- b. **Ambiental:** Dada la necesidad creciente de aportar a la conservación del medio ambiente, se hace necesario que las empresas impulsen procesos de recuperación de los residuos que genera su actividad productiva y promuevan en la ciudadanía una cultura de recuperación.

Existe una gran variedad de productos que actualmente tienen un tratamiento para recuperar o reutilizar los materiales que lo componen, y cuyos procesos han ido paulatinamente evolucionando para ser más eficientes. Sin embargo, hay otro tipo de productos que son dispuestos en los rellenos sanitarios, perdiéndose la posibilidad de recuperar valor de ellos. Este es el caso de los envases que en el mercado se conocen como *larga vida*, dentro de los que se encuentran los envases de Tetra Pak®, los cuales son utilizados para envasar líquidos manteniendo sus propiedades por mayor tiempo y evitando la necesidad de refrigerarlos antes de ser abiertos, y cuyos materiales son 100% reciclables. A pesar de que puede ser aprovechado, este tipo de envase es tratado como un residuo ordinario, debido al desconocimiento por parte de la sociedad sobre la posibilidad de su recuperación, además de la falta de los recursos necesarios para darle un tratamiento adecuado para reutilizar sus componentes.

Antecedentes

Aunque la empresa Tetra Pak tiene un alto compromiso para aumentar el volumen de envases recuperados en todo el mundo, en Colombia no se ha logrado avanzar a niveles como el de Brasil que evidencia más del 27% de envases recuperados para el año 2011 (Tetra Pak Brazil Sustainability Report 2010/2011, 2011). Este país ha sido pionero en la recuperación de envases larga vida, convirtiéndose en un ejemplo a nivel mundial para la recuperación de estos materiales.

Modelo brasileño de gestión de Residuos

El Protocolo de Kioto establecía que los países industrializados debían reducir sus emisiones entre el 2008 y el 2012 en un 5.2% por debajo de los niveles observados en el año 1990. También establece que cada tonelada de dióxido de carbono que un país en desarrollo no emitiera a la atmósfera podría ser negociada en el mercado como un CER (Certificado de reducción de emisiones). De este modo, los países industrializados compran los CERs de países en desarrollo con el fin de aumentar su cuota de contaminación. Gracias a ello, países como China con un 46%, India con un 19% y Brasil con un 6% en reducción de emisiones, se clasifican entre los países con mayor potencial de reducción de emisión de gases de efecto invernadero, todo gracias a sus estrategias de reciclaje y aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de energía (Lino & Ismail, 2012).

Brasil hace uso de esta herramienta de negociación y de su importante nivel de reducción de emisiones para obtener recursos para sus proyectos de desarrollo, vendiendo sus CERs a países que por su nivel de desarrollo, no están dispuestos a disminuir el impacto ambiental, pero que, por otra parte ya llegaron al límite en su nivel de contaminación debido a este tratado. Esto conlleva a que Brasil sea un país de gran importancia a nivel latinoamericano por sus niveles de recuperación de residuos sólidos urbanos y sus iniciativas para la producción de energía gracias a los residuos en los rellenos sanitarios, además del importante nivel de reciclaje de materiales.

La Política Nacional de Residuos Sólidos de Brasil

Brasil cuenta con una Política Nacional de Residuos Sólidos, cuyos principales objetivos incluyen: promoción de la reducción, reutilización, reciclaje y tratamiento de residuos sólidos, así como la responsable disposición de los mismos; adoptar, desarrollar y mejorar las tecnologías en limpieza como una forma de minimizar el impacto ambiental y proporcionar incentivos a la industria del reciclaje para ayudar al incremento del uso de material reciclado. Además establece que cada localidad debe desarrollar un Plan Integrado de Manejo de Residuos Sólidos, identificando la disposición final más adecuada, de forma que para Agosto

de 2014 los tiraderos de basura y rellenos no regulados ya no estuvieran en operación (Lopes de Sousa Jabbour, Chiappeta Jabbour, Sarkis, & Govindan, 2014).

La ley N° 12305 del 2 de agosto de 2010, creada durante el gobierno del presidente Luiz Inácio Lula Da Silva, busca instituir una política nacional de residuos sólidos y tiene como principio que quien en mayor medida contribuya a la generación, será quién más aporte económicamente o dando soporte en mayor medida al manejo de los residuos (United States Environmental Protection Agency, 2014).

Las prioridades en las que se basa son en su orden: no generación, reducción, reutilización, reciclaje, tratamiento de residuos y disposición ambientalmente adecuada de los mismos.

Esta ley además establece que debe elaborarse un Plan Nacional, Estatal y Municipal de residuos sólidos a veinte años, actualizado cada cuatro, el cual debe contar con un diagnóstico de la situación actual, una propuesta de diferentes escenarios que incluyan tendencias internacionales y macroeconómicas, unas metas de reducción, reutilización y reciclaje; metas para el aprovechamiento energético de los gases generados en las unidades de disposición final de los residuos, metas para la eliminación y recuperación de los residuos asociadas a la inclusión social y emancipación económica de los recolectores de materiales reutilizables y reciclables, programas y proyectos para el cumplimiento de las metas propuestas, normas y condiciones técnicas para acceso a recursos, medidas para incentivar la gestión de los residuos, normas para la disposición final de los residuos y medios para el control.

Además de esto, establece la creación de sistemas como el SINIR – *Sistema Nacional de Informações sobre a gestão dos resíduos sólidos*, el SINISA – *Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico*, un Fondo Nacional de Medio Ambiente, entre otros sistemas y organismos que sirvan como instrumentos de la Política Nacional de Residuos Sólidos.

Por otra parte, en el artículo 47, esta ley establece la prohibición de diferentes medios de disposición final de residuos sólidos como verterlos en playas, mares o cualquier fuente hídrica, en la naturaleza a cielo abierto y la quema de residuos a cielo abierto o en instalaciones no autorizadas para esta finalidad (Palacio do Planalto Presidência da República, 2014).

Iniciativa Conjunta Estados Unidos - Brasil en Sustentabilidad Urbana

En el año 2011, el presidente de los Estados Unidos, Barack Obama y la presidenta de Brasil, Dilma Rousseff, anunciaron la creación de la Iniciativa Conjunta de Estados Unidos y Brasil en Sustentabilidad Urbana. Esta es una alianza público-privada que apoya la inversión en infraestructura urbana sustentable. Los principales aliados son el EPA (Environmental Protection Agency), el Ministerio de Ambiente de Brasil, la ciudad de Philadelphia en EUA, la ciudad de Rio de Janeiro, el estado de Rio de Janeiro, la Fundación Rockefeller y la Fundación Brasileña para el Desarrollo Sostenible (United States Environmental Protection Agency, 2014).

Esta iniciativa se despliega en estrategias que buscan, entre otros, mejorar la gestión de los residuos.

Esta política se apalanca en varias estrategias:

- a. **Alianzas público-privadas:** Son acuerdos entre entidades del sector público y el sector privado, que haciendo uso de las capacidades de cada uno, prestan un servicio o entregan instalaciones de uso público. Normalmente la entidad privada financia la expansión o construcción de sitios públicos a cambio de ganancias, o derechos para el futuro desarrollo de viviendas, tiendas comerciales o industrias en el mismo sector (United States Environmental Protection Agency, 2014).
- b. **Expansión en la recolección de residuos municipales:** En Rio de Janeiro la política propone el incremento en 31.000 toneladas de residuos recogidos adicionales de forma anual, aumentando un 5% la tasa de reciclaje como meta para el año 2015. Para esto hace uso de campañas educativas, incrementa la frecuencia de recogida, construye puntos de procesamiento de residuos adicionales y hace la instalación de mayor número de EcoPuntos (puntos de recolección de residuos). Además de esto, la construcción de seis nuevas instalaciones procesadoras de residuos gracias a la financiación del Banco Nacional de Desarrollo de Brasil (United States Environmental Protection Agency, 2014).
- c. **Morar Carioca Verde:** Esta iniciativa busca la construcción de infraestructura local más amigable con el medio ambiente en diferentes *Favelas* de Rio de Janeiro, donde la población es más vulnerable a los cambios climáticos. Además, proyectos de reforestación que le permitan a la población la exploración del ecoturismo. Esto, presenta como beneficios la reducción en consumo de energía, la mejora en sistemas de acueducto, la mejora de las condiciones de vivienda, entre otros (United States Environmental Protection Agency, 2014).
- d. **Gases de rellenos como sistemas de energía:** A través de la creación de rellenos sanitarios con un sistema de captura de biogases, se hace posible la conversión de los gases producto de la descomposición de residuos orgánicos de los rellenos sanitarios en energía (United States Environmental Protection Agency, 2014).

Logística inversa del Tetra Pak® en Brasil

Brasil es una economía en desarrollo, con una gran cantidad de personas que viven en la pobreza. Hacia el año 2007, aproximadamente 400.000 brasileños vivían de la recolección y venta de residuos (Von Zuben, Osrato, & Van Wassenhove, 2007). Esto ha permitido al país ayudar en gran medida a mejorar las condiciones de vida de estas personas, además de contribuir con el impacto sobre el medio ambiente.

La cultura del reciclaje en Brasil se basa en la **recolección selectiva de residuos**. Para esto, cuenta con seis métodos de recolección: Puerta a puerta, recolección voluntaria, recolectores autónomos, cooperativas de recolectores, chatarreros y otros.

Brasil cuenta con el organismo CEMPRE – *Compromisso Empresarial para Reciclagem*, la cual es una organización sin ánimo de lucro que se dedica a la promoción del reciclaje dentro del concepto del manejo integral de los residuos. Fue fundada en el año 1992 y cuenta con el apoyo de empresas privadas de diversos sectores buscando la concientización de la sociedad sobre la importancia de la reducción, reutilización y reciclaje de los residuos. Dentro de las empresas asociadas a CEMPRE se encuentra Tetra Pak Brasil (CEMPRE Compromiso Empresarial para Reciclagem, 2014).

Según el *CEMPRE Review 2013* diariamente en Brasil durante el año 2013, se generaron en promedio 193.642 toneladas de residuos sólidos, de las cuales fueron diariamente recolectadas 169.300 toneladas, lo que muestra una cobertura del 87,4%. Además, Brasil pasó de tener 81 municipios con Colecta Selectiva en 1994 a tener 766 municipios en el año 2012 (CEMPRE Compromiso Empresarial para Reciclagem, 2014).

Gracias a diferentes alianzas, como la existente con la compañía Johnson & Johnson, mensualmente se procesan 37 millones de envases larga vida o Tetra Pak® para fabricar mil toneladas de papel-cartón que posteriormente será procesado para la producción de cajas de apósitos para esta compañía. Por otra parte, el polialuminio restante se utiliza para la producción de tejas de uso principalmente en granjas (CEMPRE Compromiso Empresarial para Reciclagem, 2014).

Según la página web de CEMPRE existen actualmente 452 Cooperativas de recolectores, 154 chatarreras, y 92 entidades de reciclaje relacionadas con la recuperación de los envases larga vida de Tetra Pak® distribuidas a lo largo del país.

CEMPRE además publica los precios promedio a los que se venden los diferentes tipos de residuos en varias regiones del país de forma bimestral.

Por su parte, la empresa Tetra Pak Brasil, impulsa los procesos de recuperación de envases de diferentes formas:

a. Campañas educativas

Tetra Pak lleva a cabo el proyecto “*Cultura Ambiental nas Escolas*”, a través del cual, lleva información a millones de niños sobre el manejo de residuos urbanos, recolección selectiva, reciclaje y el ciclo de vida de los materiales. Para ello, hace entrega de kits que comprenden cartillas para los estudiantes y profesores. Además, cuenta desde el año 2009 con un portal web en el cual existe toda clase de información para alumnos y docentes con el fin de apoyar el proceso de recuperación de envases y promover la importancia del cuidado del medio ambiente en general. Todo esto es apoyado por las entidades gubernamentales y municipales pertinentes (Tetra Pak Brazil, 2014).

b. Logística de recolección

Tetra Pak apoya los procesos de recolección de los envases gracias a la implementación del portal web “*Rota da reciclagem*” en el cual muestra a todos los interesados la forma de

participar del proceso de separación y entrega de envases larga vida para su reciclaje. Este portal web informa la localización de las diferentes cooperativas de recolectores, las empresas que trabajan con la compra de materiales reciclables y los puntos de entrega voluntaria (PEVs) que reciben envases de Tetra Pak® (Tetra Pak Brazil, 2014).

c. Alianzas con otras empresas de sector privado

Tetra Pak ha logrado formar alianzas importantes con las empresas Klabin (proveedor del papel), Alcoa (proveedor del papel de aluminio) y TSL Ambiental (empresa de ingeniería ambiental brasileña). De esta alianza en particular se obtuvo la construcción de una planta de reciclaje de envases Tetra Pak® en Piracicaba, la cual se encuentra en operación desde el año 2005. Allí, se separan todos los materiales a través de tecnología plasma desarrollada por TSL. De esta forma, cada uno de los materiales vuelve a la cadena productiva como materia prima, de forma que el mismo aluminio es utilizado por Alcoa para la producción de nuevo papel aluminio para Tetra Pak y por su parte, Klabin utiliza el papel resultante para la manufactura de cartón, aunque este nuevo cartón reciclado no va para Tetra Pak, dado que ésta última solo consume cartón virgen (procedente de la madera) debido a su política de calidad. Por último, el polietileno, que es convertido en parafina, es vendido a diferentes industrias nacionales de químicos (Packaging Gateway, 2014). La Figura 1 ilustra el flujo de recuperación del Tetra Pak® en Brasil y los procesos a los cuales se llega para aprovechar sus componentes. Por su parte, la Figura 2 presenta un esquema del macroproceso de Recolección Selectiva y el flujo de procesos que lo comprenden.

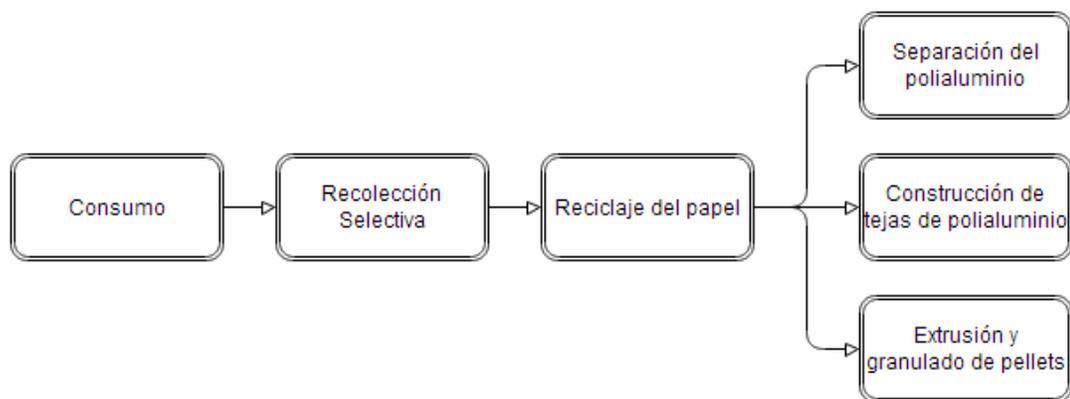


Figura 1- Proceso básico de recuperación del Tetra Pak® en Brasil

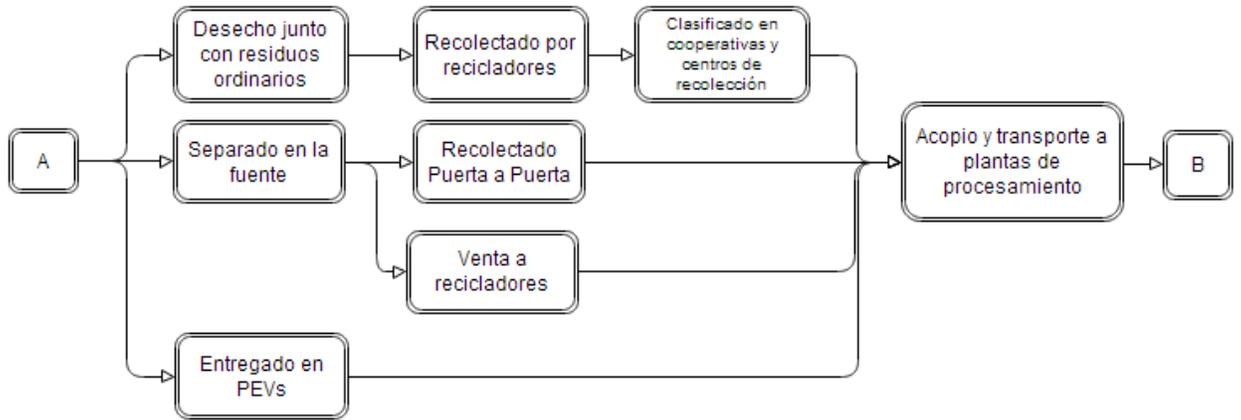


Figura 2- Subproceso de recolección selectiva de Tetra Pak® en Brasil

Gestión de residuos sólidos en Colombia

Según el decreto 2981 de 2013, la Gestión Integral de Residuos Sólidos se define como “el conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, y tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización y también el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables” (Alcaldía de Bogotá, 2014).

Este decreto se fundamenta en la Ley 142 de 1994, bajo la cual se reglamenta la prestación de los servicios públicos en Colombia y establece el marco normativo sobre el cual deben actuar los entes municipales para la adecuada gestión de los residuos.

Por otra parte, la Resolución 1045 de 2003 establece la metodología para la elaboración de Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), que se definen como el conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos y actividades definidos por el ente territorial para la prestación del servicio de aseo, basado en la política de Gestión Integral de Residuos Sólidos y obligándose a ejecutarlo durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial y la proyección a futuro de un Plan Financiero Viable que permita garantizar el mejoramiento continuo de la prestación del servicio de aseo, evaluado a través de la medición de resultados. Además, establece que el PGIRS de cada región deberá elaborarse y ejecutarse de acuerdo con los lineamientos definidos en el Plan de Ordenamiento Territorial (Alcaldía de Bogotá, 2014).

De este modo, el PGIRS busca la reducción en el origen, el aprovechamiento y la correcta disposición de los residuos que no puedan ser aprovechados.

La legislación Colombiana hace distinción entre residuos **aprovechables, ordinarios y residuos especiales**. El primero lo define como el residuo sólido susceptible de ser aprovechado para su reincorporación a un proceso productivo. El segundo, se define como aquel de características no peligrosas que puede ser tratado por las empresas prestadoras del servicio público de aseo. Por último, el tercero se define como el residuo sólido que por su naturaleza, no puede ser recolectado y manejado por las empresas prestadoras del servicio público de aseo (Alcaldía de Bogotá, 2014).

Por otra parte, el decreto 2981 de 2013 establece que debe existir un plan de aprovechamiento de los residuos en la medida en que las condiciones de los mismos lo permitan, siempre bajo las consideraciones establecidas en el PGIRS de la región en cuestión, y tiene como propósitos los siguientes puntos:

- a. Racionalizar el consumo de materias primas provenientes de recursos naturales.
- b. Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en diferentes procesos productivos.
- c. Disminuir el consumo de energía en procesos productivos.
- d. Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios.
- e. Reducir el caudal de lixiviados en los rellenos sanitarios.
- f. Disminuir impactos ambientales.
- g. Garantizar la participación de recicladores de oficio.

Además, establece que se debe realizar una evaluación de la viabilidad de los proyectos de aprovechamiento de los residuos sólidos en el marco del PGIRS y considerando que se debe realizar una gestión diferencial de residuos aprovechables, desarrollando programas de separación en la fuente y la implementación de rutas de recolección selectiva.

Recuperación de residuos de Tetra Pak® en Colombia

Luego de consultar la literatura, se evidencia poca documentación sobre la recuperación de residuos de Tetra Pak® en Colombia, por lo cual se recurre directamente a la empresa Tetra Pak Colombia para entender cuáles son las estadísticas y formas de recuperación del material.

Según lo informado por esta compañía, se han venido adelantando proyectos en el país para la recuperación de envases desde el año 2011 hasta la fecha. Los resultados de recuperación de envases entre el 2011 y el 2014 se muestran en la Figura 3.

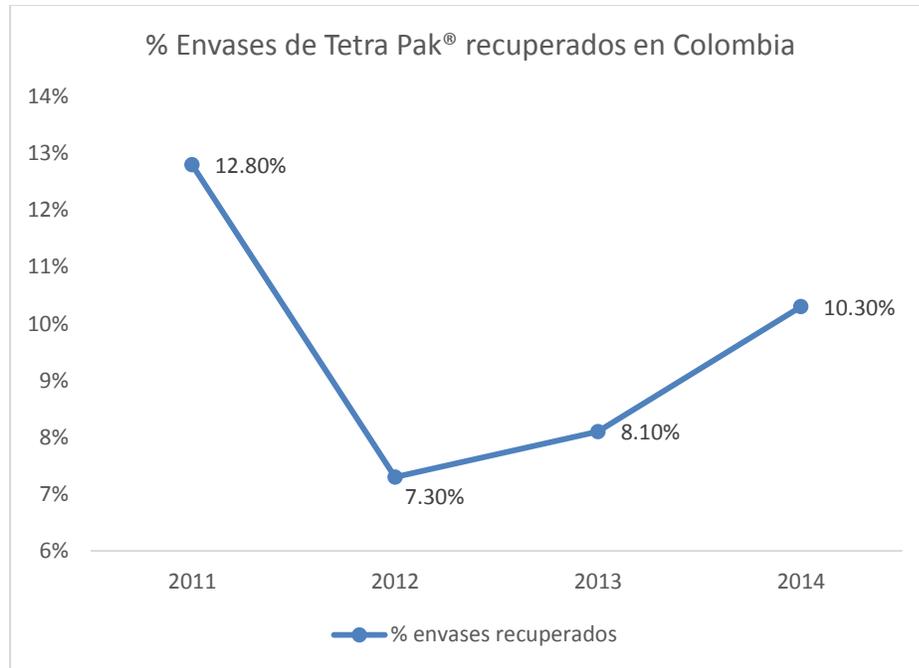


Figura 3 - Proporción de recuperación de envases de Tetra Pak® por año en Colombia

En la actualidad existen tres plantas en funcionamiento que son apoyadas por Tetra Pak Colombia que se encargan de aprovechar el Tetra Pak® recuperado:

- a. **Empacor S.A.:** Empresa dedicada a la fabricación de empaques corrugados que sirven para el embalaje de productos. Cuenta con plantas en Bogotá y Medellín y aprovecha la fibra de cartón de los envases recuperados de Tetra Pak® para la producción de tales corrugados. El polialuminio restante lo vende a otras compañías. La capacidad de procesamiento de esta compañía es de 200 toneladas por mes de envases.
- b. **Proplanet:** Es una planta integrada ubicada en la ciudad de Medellín, la cual aprovecha el 100% del Tetra Pak® de dos formas: la primera es la fabricación de placas aglomeradas para uso en mobiliario, para lo cual la fibra de papel de los envases no es separada. La segunda es la separación de la fibra del papel, la cual se comercializa como pulpa de papel o se utiliza para la elaboración de productos de relleno para calzado, bandejas para frutas o huevos y otros accesorios de embalaje; por otra parte, el polialuminio se utiliza para la fabricación de tejas de alta resistencia y durabilidad y con propiedades de aislamiento térmico y acústico. La capacidad de procesamiento de esta compañía es de 150 toneladas por mes de envases.
- c. **Sonoco de Colombia:** Empresa ubicada en la ciudad de Cali, la cual al igual que Empacor se dedica a la recuperación únicamente de la fibra de papel del Tetra Pak® para producción de envases y embalajes de cartón. La capacidad de procesamiento de esta compañía es de 200 toneladas por mes de envases.

Dentro de la consulta realizada sobre las empresas en Colombia que aprovechan el Tetra Pak® como insumo para la fabricación de productos derivados, se encuentra la compañía Riorión S.A, la cual comercializa bajo la marca Ecoplak®, productos como tejas, aglomerados y mobiliario terminado a partir de la recuperación de estos envases, pero que no se encuentra en alianza con Tetra Pak Colombia.

Según lo informado por Tetra Pak Colombia a través de su departamento de Medio Ambiente, las iniciativas de generación de empresa basadas en el aprovechamiento del Tetra Pak® son de carácter privado y Tetra Pak Colombia aporta en las siguientes formas:

- a. **Contratos de comodato de maquinaria:** Tetra Pak invierte en la maquinaria requerida para separar las capas del material, teniendo el conocimiento en la importación y montaje de tales equipos, para ello dispone de un presupuesto limitado, por lo cual no todas las iniciativas pueden ser apoyadas bajo esta modalidad.
- b. **Proyecto Tetra Pak Sí Recicla:** Campañas en las ciudades donde se encuentran ubicadas las plantas de aprovechamiento donde se busca incentivar la recolección del material con las cadenas de recicladores, colegios y universidades y adicionalmente con el gobierno nacional en la construcción de la política pública de reciclaje.
- c. **Pago de flete terrestre para el transporte de envases a plantas de aprovechamiento:** En las ciudades donde no existen plantas de aprovechamiento, pero que se puede acopiar el material para luego enviarlo a alguna de las tres plantas mencionadas, se realiza una preparación del material y el costo del flete para enviarlo a tales plantas es asumido por Tetra Pak Colombia.

Formulación del problema de ingeniería

El reciclaje de los envases de Tetra Pak® es de alta complejidad, inicialmente por la logística requerida para la recuperación de los envases, pues no existe normatividad ni cultura ciudadana en Colombia que permitan la agrupación de este tipo de residuos sin que ello implique altos costos.

En segunda instancia, se dificulta, ya que la separación de sus componentes solo es posible hacerla hasta el punto de separar la capa de papel de las demás capas de polietileno y aluminio para producción de papel reciclado o corrugados para la industria. Para separar el polialuminio restante, de forma que cada material pueda volver a la cadena productiva como materia prima por separado, solo se puede realizar a través del proceso de alto costo y que no se encuentra implementado en Colombia.

Según lo expuesto, en el país existen pocas empresas dedicadas a la recuperación de estos envases, las cuales se abastecen del material que se logra recopilar en las principales ciudades del país. Puntalmente en el eje cafetero, según ha informado Tetra Pak Colombia, existen pequeñas bodegas en las ciudades de Manizales y Pereira donde se recoge el material para enviarlo a Medellín y Cali respectivamente para su posterior aprovechamiento en las plantas localizadas en estas dos ciudades. Estas bodegas logran recoger una proporción muy pequeña del total de envases comercializados y no existe una planta para el aprovechamiento del Tetra Pak® en el eje cafetero, lo cual muestra que, a pesar de contribuir al aprovechamiento de este material y la reducción del impacto ambiental, queda mucho por hacer para potenciar esta industria de reciclaje.

Teniendo en cuenta lo anterior, y además, considerando que el Tetra Pak® es un material que puede ser reutilizado al 100%, ya sea buscando la separación de sus componentes, o haciendo uso del mismo para fabricar productos derivados, y teniendo conocimiento sobre el impacto ambiental generado y las problemáticas logísticas para su recolección, además teniendo claros los diversos procesos que pueden llevar a convertir los residuos de este material en productos comercializables en el mercado, es de gran importancia poder responder al interrogante:

¿Cómo desarrollar una red de logística inversa en la ciudad de Manizales para lograr la recuperación de los envases de Tetra Pak® sin incurrir en altos costos, de forma que se logre clasificar y preparar el material para entregarlo de la manera adecuada a los centros donde puede ser reutilizado?

Objetivo General

Diseñar una red de logística inversa para envases de Tetra Pak® en la ciudad de Manizales, con el fin de entregar el material en óptimas condiciones para su reutilización.

Objetivos Específicos

- a.** Plantear diferentes alternativas de recolección de envases de Tetra Pak® usados y evaluarlas, para seleccionar la alternativa más económica y efectiva.
- b.** Diseñar el proceso y las operaciones necesarias para preparar el material para su reutilización.
- c.** Realizar un estudio de localización para establecer uno o varios centros de acopio.

Justificación

Desde la década del 90 se empieza a hacer uso del concepto de *logística inversa* como una variable competitiva para las organizaciones debido a dos razones fundamentales: impacto ambiental y productividad. Ello ha hecho que sea común el reciclaje de materiales como el papel, el plástico, la chatarra y el vidrio, los cuales ya cuentan con procesos estandarizados para su recuperación.

El material Tetra Pak®, siendo 100% reciclable, y únicamente fabricado por la empresa Tetra Pak, ha tenido avances importantes en las metodologías de recuperación, siendo Brasil, España y China los países principales en los cuales se ha logrado la implementación de redes logísticas organizadas y sistemas de reciclaje y recuperación eficientes de importantes volúmenes de este material (Tetra Pak, 2014).

Por su parte, la ciudad de Manizales cuenta con un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) en respuesta a la normatividad nacional la cual exige a cada municipio formularlo, y de donde resulta un análisis que establece que para el año 2027 el nivel de producción de residuos sólidos en la ciudad aumentará en más de un 50% frente al nivel actual. Dado esto, es fundamental que la ciudad se apalanque en diferentes estrategias que le permitan aumentar la vida útil del relleno sanitario La Esmeralda y contribuir a la reducción de la contaminación. El PGIRS de la ciudad de Manizales no contempla explícitamente el material Tetra Pak® ni los envases larga vida como también se conocen. En éste solo se encuentra especificado el cartón, categoría dentro de la que podría caer el Tetra Pak® dada su composición y la cual es la categoría con mayor nivel de recuperación en la ciudad con 134.050 kg en el año 2014. Sin embargo, al no existir una delimitación clara para el material Tetra Pak® se genera el desconocimiento y la falta de gestión para su recuperación, lo cual se evidencia en que los recicladores no conozcan el material y por ende este no esté siendo recolectado, ni existan tampoco cifras claras del volumen de generación y su aprovechamiento en la ciudad.

Tomando en consideración estos antecedentes, y teniendo en cuenta la importancia de la logística inversa como factor de competitividad y de gran aporte al medio ambiente, además de las bajas estadísticas de Colombia en cuanto a recuperación de este tipo de material y que la empresa Tetra Pak espera un nivel de recuperación de estos residuos en un 40% para el año 2020, se considera que el diseño de una red logística que permita la recuperación de envases de Tetra Pak® en Manizales, tendrá un importante impacto para la competitividad regional, además de la consecuente disminución en el impacto ambiental, contribuyendo con el cumplimiento del PGIRS desde una iniciativa privada y un aporte al aumento de la vida útil del relleno sanitario La Esmeralda.

Marco Teórico

Concepto de Logística

El término *logística*, etimológicamente proviene del griego “logistikos” y significa *flujo de materiales* (López, Giraldo, & Arenas, 2011).

El término, según el diccionario de la Lengua Española, se define como “conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa o servicio, especialmente de distribución” (Real Academia de la Lengua Española, 2016). Esta definición presenta la importancia de la logística dentro de la industria militar, donde se dieron sus inicios y su posterior acogida en el mundo empresarial.

Este término ha cambiado a través de la historia, de modo que cada vez se va ampliando su alcance. A partir de los años 50 se hacen importantes para las empresas los costos relacionados con el proceso de llevar su producto a manos de sus consumidores, naciendo entonces hacia 1960 la logística como **distribución física**, concentrada en la entrega del producto hacia el mercado (Coyle, Langley Jr., Novack, & Gibson, 2013). Las compañías empiezan a diseñar redes logísticas eficientes, maximizando la capacidad de entrega y haciendo el uso más eficiente posible de los recursos, gracias a lo que nace el *outsourcing*, donde empresas especializadas realizan el trabajo de entrega al consumidor, de modo que los fabricantes se puedan concentrar en su actividad central (García, 2006).

El Council of Supply Chain Management Professionals, define la logística como “el proceso de planeación, implementación y control de procedimientos para el eficiente y efectivo transporte y almacenamiento de bienes, incluyendo servicios e información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el propósito de cumplir los requerimientos del cliente, todo esto incluyendo movimientos de entrada, salida, internos y externos”. (Council of Supply Chain Management Professionals, 2016).

Hoy en día se habla de Gestión de Cadenas de Suministro, ya que es necesario que cada función, proceso o actividad de una compañía deje de actuar de forma aislada, para pasar a ser un agente dentro de un equipo de procesos que van encaminados hacia un objetivo común (Inza, 2006).

Se define entonces la Gestión o Administración de la Cadena de Suministro como la “actividad de alineación, planeación y gestión de todas las actividades involucradas en el abastecimiento, conversión y todas las actividades de gestión logística, incluyendo la colaboración con canales aliados tales como proveedores, intermediarios, terceras partes y clientes. En esencia, se trata de la integración de la gestión de la oferta y la demanda dentro y a través de la compañía” (Council of Supply Chain Management Professionals, 2016). De este modo, la logística deja de

ser considerada únicamente como un tema de distribución de productos hacia un consumidor final.

Dentro de la misma Administración de Cadenas de Suministro, se encuentra la Administración o gestión Logística, definida como “la parte de la cadena de suministro que planea, implementa y controla el eficiente y efectivo flujo, tanto hacia adelante como en reversa, de bienes, servicios e información relacionada entre el punto de origen y el punto de consumo para cumplir los requerimientos del cliente. Típicamente incluye la gestión de transporte de entrada y de salida, gestión de fletes, almacenamiento, manipulación de materiales, cumplimiento de órdenes, diseño de redes logísticas, gestión de inventario, planeación de la oferta y la demanda, y gestión de terceros proveedores de servicios. Puede incluir además, el abastecimiento, planeación y programación de la producción, empaque y embalaje, y servicio al cliente” (Council of Supply Chain Management Professionals, 2016).

El fundamento de la logística es ofrecer la máxima calidad de servicio a unos costos totales mínimos (Inza, 2006). Es por ello, que se hace indispensable que cada eslabón de la cadena esté en constante trabajo por ser más competitivo sin perder el objetivo general. Sin embargo, al llegar al consumidor final, pareciera que finaliza la cadena. Es por ello que con el fin de seguirle apostando a la competitividad, además de reducir los impactos ambientales generados por los residuos resultantes de la actividad de una cadena de suministro, se hace indispensable encontrar la forma de cerrar el ciclo, de forma que los mismos materiales y subproductos provenientes de una actividad productiva, sirvan como materia prima para la misma. Es así como se cierra el ciclo con el nacimiento de la *logística inversa*, la cual es el segmento de la logística que integra los productos, procesos o materias primas que se incorporan nuevamente a la cadena de valor y tiene una relación directa con la preservación del medio ambiente, el manejo de los desechos de los procesos productivos e involucra reprocesos, devoluciones y reclamos (López, Giraldo, & Arenas, 2011).

Tipos de Logística

La división general de la logística, involucra cuatro ramas que, en conjunto conforman la Cadena de Suministro:

- a. **Logística de Entrada:** Comprende las actividades de pronóstico de la demanda, la gestión de compras y aprovisionamiento y la gestión de inventario y almacenamiento de materias primas
- b. **Logística interna:** Involucra el proceso productivo para transformar la materia prima en un producto terminado
- c. **Logística de salida:** Comprende las actividades de gestión de inventario y almacenamiento de producto terminado, transporte y distribución al cliente final
- d. **Logística inversa:** En ella se consideran las actividades de manejo de desechos, devoluciones, reclamos y reprocesos (López, Giraldo, & Arenas, 2011).

Logística inversa

En la década del 90, se empieza a hacer evidente la crisis ambiental, y las compañías ya no solo deben preocuparse por llegar a sus consumidores, sino por encontrar el modo de lograr el mínimo impacto ambiental luego de que sus productos lleguen al final de su vida útil. Es así como nace el concepto de *logística inversa* (García, 2006).

La logística inversa se puede ver desde varias perspectivas. Una de ellas indica que “es la parte de la logística enfocada en el movimiento y gestión de productos y recursos luego de la venta y de la entrega al cliente, incluyendo las devoluciones de producto para reparaciones y/o créditos”. (Council of Supply Chain Management Professionals, 2016)

El Executive Council of Reverse Logistics, presenta una definición concreta de Logística inversa: *“Proceso de planeación, implementación y control de un eficiente y rentable flujo de materias primas, producto en proceso y productos terminados, además de toda la información relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el propósito de recuperar valor o darle una apropiada disposición”* (Rogers & Tibben-Lembke, 1998)

Esta, es una adaptación inversa de la definición de logística del Council of Supply Chain Management Professionals CSCMP, que permite evidenciar que la logística de recuperación de materiales luego de su vida útil, requiere de las mismas etapas de la logística de distribución hacia adelante, teniendo como reto la recuperación de material de difícil acceso, para lo cual se requiere la concientización de los consumidores, quienes serán la fuente de recolección, y cuya identificación con la necesidad ambiental y social de recuperar la mayor cantidad de materiales posibles, determinará el éxito o fracaso de la logística inversa de cualquier producto.

Las causas por las cuales la logística inversa se activa son las mercancías en estado defectuoso, el retorno de excesivo inventario, las devoluciones de los clientes, los productos obsoletos y los inventarios estacionales (López, Giraldo, & Arenas, 2011), sin embargo, dentro de la administración de cadenas de suministro existe el desafío de aumentar la sostenibilidad, entendido desde varias perspectivas que van desde el cambio climático global hasta la disminución de recursos de materias primas, que adicionalmente puede impactar positivamente los costos de producción, transporte, etc. (Coyle, Langley Jr., Novack, & Gibson, 2013), es por ello que cada día más compañías aumentan esfuerzos por implementar procesos de logística inversa.

Tipos de Logística Inversa

La logística inversa, también involucra la remanufactura y restauración de productos que ya presentan una disposición final (Rogers & Tibben-Lembke, 1998). Por ello, la recuperación de los materiales, debe preceder a un proceso de recuperación eficiente de los componentes que lo conforman, además de que se debe asegurar que tal proceso de remanufactura sea también consecuente con la idea de la minimización en el impacto ambiental. Por otra parte, se debe pensar también que el material recuperado o remanufacturado sea lo suficientemente eficiente en su impacto ambiental para que al final de su vida útil, su recuperación sea más sencilla y efectiva.

La logística inversa se puede ver desde dos puntos de vista:

- a. **Logística inversa de productos:** Es la logística inversa bajo la cual, los productos que llegan a un consumidor final son recuperados, lo cual sucede generalmente por motivos como defectos en el mismo, regresando fácilmente a los distribuidores.
- b. **La logística inversa de empaques:** Hace énfasis en la recuperación de empaques y embalajes, la cual se realiza para remanufacturarlos, tal como sucede con los envases plásticos o de vidrio, o repararlos si es posible como las estibas de madera o huacales, para así darles una vida útil más prolongada. (Rogers & Tibben-Lembke, 1998)

Es importante diferenciar estos dos tipos de logística inversa, ya que las técnicas de recolección en ambos casos son completamente diferentes, puesto que en el primer caso, el dinero invertido por un cliente está directamente relacionado con la devolución, dado que éste requiere que el distribuidor responda ante un producto de mala calidad y por ello lo regresa, facilitando la logística de recuperación. Por el contrario, cuando se trata de empaques, la dificultad en la recuperación aumenta significativamente, ya que la técnica se debe concentrar en la concientización ambiental del consumidor para que regrese los empaques, preferiblemente en buen estado, teniendo en cuenta que un empaque ya es considerado “sin valor” para el consumidor, por lo cual lo trata como desecho.

Tanto el sector industrial, como el científico se concentran en ocho sectores principales para la recuperación de materiales: Sector automotriz, acero, almacenes comerciales, editorial, eléctrica, empaques, moda y papel. Específicamente en los sectores de empaques y papel, se evidencia que la literatura se concentra en el estudio de casos de empresas que exitosamente llegan a la recuperación de envases y la reutilización de los mismos. Sin embargo, se enfatiza la necesidad de que exista una contribución entre varios sectores que permitan que la logística de recuperación sea un proceso exitoso, sostenible y que muestre además rentabilidad (Contreras Castañeda, Tordecilla Madera, & Silva Rodríguez, 2013).

En las empresas, se diferencian cinco enfoques por los cuales se promueve la logística inversa:

- a. **Abastecimiento y compras:** Desarrollo de proveedores y materias primas o materiales de empaque y embalaje que sean “amigables con el medio ambiente”.
- b. **Reducción de insumos vírgenes:** Implica ingeniería de producto con el fin de aprovechar los materiales sobrantes y dar preferencia a los materiales reutilizados, impulsando la cultura del “retorno”.
- c. **Reciclado:** Uso de materiales de origen reciclado e inversión en tecnología que permita el uso de este tipo de materiales en los procesos productivos.
- d. **Sustitución de materiales:** Cambio de materiales para mejor rendimiento de los productos o reducción de costos en los mismos.
- e. **Gestión de residuos:** Gestión de abastecimiento de materiales evaluando plenamente la tasa de residuos generados para reducir al mínimo su impacto en el costo de producción. (López, Giraldo, & Arenas, 2011).

Logística inversa de empaques

La logística inversa se debe considerar como un proceso organizacional estratégico. La recuperación de materiales para la producción de nuevos productos permite importantes ahorros energéticos y en compras de materias primas para las empresas (Rogers & Tibben-Lembke, 1998). Según esto, es posible clasificar la recuperación de residuos en logística de ciclo abierto o cerrado (García, 2006), donde la **Logística de ciclo cerrado** permite la recuperación de materiales para devolverlos al inicio de la cadena productiva como materias primas. En el caso de los empaques, bajo este tipo de logística se pueden clasificar los empaques como las cajas de cartón corrugado para embalaje, las botellas de vidrio, los envases de PET transparentes, las latas de aluminio, las tapas de aluminio para envases de gaseosas y jugos, las bolsas plásticas, entre otros. Al recuperar estos empaques para la fabricación de nuevos empaques, se logran productos más competitivos en precio, ya que los costos de producción se disminuyen. Por otra parte, la **Logística de ciclo abierto** permite la recuperación de materiales para obtener productos derivados de los iniciales, ya que no es posible recuperar los materiales para devolverlos al inicio de la cadena productiva, debido a que su porcentaje de pureza ya no será del 100%. En esta categoría se pueden clasificar los envases de Tetra Pak®, los envases y tapas plásticas con colorantes y productos fabricados con materiales compuestos.

Al final de la vida útil del producto que contiene, el empaque se convierte en un residuo para el consumidor final, por ello, la logística inversa de empaques hace parte de la Gestión de Residuos la cual comprende todas aquellas actividades encaminadas a dar a los residuos el destino final más adecuado de acuerdo a sus características y cantidad (Del Pozo & González, 2009).

Para garantizar una efectiva gestión de residuos, se requiere de una serie de actividades que permitan darles la mejor disposición y tratamiento:

- a. **Almacenamiento:** Acondicionamiento del residuo en los recipientes apropiados.
- b. **Recolección:** Evacuación del residuo que está almacenado para llevarlo hacia diferentes unidades de transporte.
- c. **Transporte:** Desplazamiento de los residuos desde la fuente de generación hacia su destino, el cual variará dependiendo del tipo de residuo.
- d. **Tratamiento:** Proceso que permite modificar las características físicas, químicas o biológicas de los residuos para eliminar su potencial de peligrosidad o impacto negativo.
- e. **Disposición final:** Proceso para disponer los residuos de forma permanente y segura (Flores López, 2009).

Cadenas de suministro de reversa, cadenas de suministro de ciclo cerrado y cadenas de suministro verde

Siendo la gerencia o administración de cadenas de suministro una serie de actividades de valor agregado, que conectan los recursos de una empresa con su demanda, esta disciplina ha debido involucrar a sus operaciones la necesidad de disminuir la huella en el medio ambiente (Couto, Tiago, Gil, Tiago, & Faria, 2016).

Cuando se habla de logística inversa se piensa únicamente desde algunos de los puntos de la cadena de valor de una compañía (operaciones de recolección y transporte), mientras que trascenderlo a una visión más holística de Cadena de Suministro verde, implica que el concepto atraviesa todos los procesos organizacionales y evita limitarlo solo a una serie de actividades ambientalmente amigables, pues lo que se debe garantizar es la sostenibilidad desde las perspectivas financiera, ambiental y social (Couto, Tiago, Gil, Tiago, & Faria, 2016). En este sentido, una cadena de suministro verde primero que nada es una cadena de suministro de reversa, puesto que busca efectividad y eficiencia en la gestión de actividades para retornar productos, partes o materiales desde el consumidor para recuperar valor de ellos. Aquí el concepto de logística inversa trasciende, puesto que ya no solo se habla de las operaciones de llevar desde el consumidor hasta el punto de recuperación, sino de las actividades de recuperación como tal (Schenkel, Caniëls, Krikke, & van der Laan, 2015).

Cadena de suministro de reversa = Logística inversa + Operaciones de recuperación
(Remanufactura, reparación, reciclaje)

Por su parte, una cadena de suministro de ciclo cerrado lo que busca es integrar la cadena de valor original (hacia adelante) con la cadena de suministro de reversa para, no solo recuperar los residuos producto de la finalización del ciclo de vida en el mercado, sino involucrarlos nuevamente a su proceso productivo en forma de nuevas materias primas o insumos (Schenkel, Caniëls, Krikke, & van der Laan, 2015). Esta perspectiva nace gracias a la integración de diferentes conceptos tales como los procesos de compra y abastecimiento verdes, las prácticas de logística verdes, la logística inversa enfocada en el medio ambiente, entre otras (Couto, Tiago, Gil, Tiago, & Faria, 2016).

En las cadenas de suministro de ciclo cerrado, las decisiones de la cadena de suministro hacia adelante afectan la cadena de suministro de reversa y viceversa, por ello, se requiere una gestión coordinada de ambas para lograr potencializar el logro de la maximización de valor (Schenkel, Caniëls, Krikke, & van der Laan, 2015), sin embargo, se evidencia que dentro de los procesos de diseño de productos dentro de las compañías, se considera en gran medida la adopción de materiales reciclados y/o reciclables, pero poco se involucran las consideraciones frente a redes de transporte y distribución en el pos-consumo, abriendo entonces la brecha entre las cadenas de suministro hacia adelante y de reversa (Accorsi, Manzini, Pini, & Penazzi, 2015). Adicionalmente, estudios revelan que los consumidores son conscientes del concepto “verde” en los productos, pero normalmente no están dispuestos a pagar más por ello, puesto

que el valor agregado para ellos no es claro y no encuentran diferenciación radical entre los productos verdes y los productos regulares, por lo cual, las compañías deben repensar la estrategia “verde” en términos de la propuesta de valor, comunicación y mercadeo (Couto, Tiago, Gil, Tiago, & Faria, 2016). Estos estudios estarían soportados en el hecho de que, si bien los estudios sobre cadenas de suministro de ciclo cerrado han trascendido los fundamentos técnicos y operacionales para pasar a ser un pilar estratégico como medio para crear valor, es evidente que el nivel de investigación en este sentido es poco comparado con la investigación sobre el impacto ambiental y la gestión de procesos (Schenkel, Caniëls, Krikke, & van der Laan, 2015).

Los principales objetivos del estudio de las cadenas de suministro de ciclo cerrado se han dado en gran medida sobre el diseño y planeación de redes para determinar estrategias a largo plazo en cuanto a la localización y capacidad de instalaciones, el ruteo de vehículos entendido como un aspecto que afecta directamente los costos y la planeación de producción y gestión de inventarios, todo ello dado que también tienen impacto directo sobre los costos (Govindan, Soleimani, & Kannan, 2014). Dado lo anterior, la investigación de operaciones, siendo su objetivo la búsqueda de procesos más eficientes para lograr reducción de costos, ha contribuido a la logística y cadenas de suministro verde (Dekker, Bloemhof, & Ioannis, 2011).

Es claro que cuando una compañía busca adoptar un enfoque de cadena de abastecimiento verde debe preocuparse inicialmente por la optimización de procesos, los efectos del cambio a nivel externo en sus competidores, proveedores, consumidores y el impacto en cuanto a la responsabilidad social y la gestión de riesgos. Esto inicialmente se da gracias a la aplicación de herramientas de lean manufacturing, que combinadas con la preocupación ambiental, dan como resultado la base fundamental de las cadenas de suministro verdes. Así entonces, los procesos “Leagile” (lean + agile) donde se buscan alta eficiencia y altos niveles de respuesta, permiten un mejor uso de los recursos y por ende una disminución del impacto ambiental. Cuando todo esto se condensa en un enfoque de triple resultado desde lo social, económico y ambiental se genera prosperidad económica, conservación y protección. Así entonces, finalmente se llega a una cadena de suministro infinita, puesto que el usuario final del producto es a la vez el mismo proveedor de materias primas de retorno (Couto, Tiago, Gil, Tiago, & Faria, 2016).

Dentro de los procesos que se incorporan cuando se hace una migración a cadenas de suministro verdes, se encuentran además de lo anteriormente mencionado, unos procesos de marketing, compras y manufactura verde. En el proceso de adopción de estas nuevas prácticas “verdes” conviene comprender el impacto, por ejemplo en la relación con proveedores, donde se puede evidenciar dado que estos podrían perder negocios cuando sus clientes empiezan a utilizar materias primas recuperadas, y de forma similar con todos los stakeholders involucrados (Accorsi, Manzini, Pini, & Penazzi, 2015).

Por último, las compañías deben comprender que la generación de valor puede darse desde cuatro perspectivas: **ambiental** gracias a la reducción del impacto sobre el medio ambiente, transmitido a través de imagen de empresa verde y la creación de procesos y productos verdes. Desde la perspectiva **económica** gracias a la reducción de costos y generación de utilidades adicionales, además de la reducción de riesgos por ejemplo, en cuanto a la disminución del

impacto de la fluctuación de los precios de los commodities. Desde la perspectiva del **cliente**, gracias a la alta satisfacción y fidelización a través de un mejor servicio pos-venta, además de precios más bajos por el uso de materias primas recuperadas. Y por último, desde la perspectiva de la **información** gracias a la compilación y análisis de datos sobre el comportamiento del consumidor, el ciclo de vida de los productos y el desempeño del proceso, todo esto en aras de potenciar la creación de valor desde los demás frentes (Schenkel, Caniëls, Krikke, & van der Laan, 2015).

Residuo

El concepto de residuo trae la connotación de un material “sin valor” para el generador, siendo su definición “los restos de las actividades humanas considerados como inútiles y sin valor económico para quien lo genera, por lo que la actividad instintiva o primaria es tratar de deshacerse de este material”. (Brion, 2007) Tal como sucede con cualquier material, los residuos tienen una serie de clasificaciones de acuerdo a diferentes factores comunes entre ellos, que permiten tratarlos como un todo y de la misma forma darles un manejo específico por los entes competentes para tales actividades.

Clasificación de los residuos

Los residuos por su naturaleza pueden encontrarse en varias clasificaciones dependiendo de los componentes que posean, el lugar en el que se originen y los riesgos que puedan presentar. La Tabla 1 resume la clasificación de los residuos contemplando los factores generales de agrupación luego de revisar la literatura general sobre el tema.

Tabla 1 - Categorías y clasificación de los residuos

Categoría	Clasificación		
Por su estado físico	Sólido	Líquido	Gaseoso
Por su composición química	Orgánico	Inorgánico	
Por su riesgo potencial	Peligroso	No peligroso	
Por su procedencia	Industrial	De la construcción	Urbano o doméstico

Fuente: Elaboración propia

El Tetra Pak®

El Tetra Pak® es un material compuesto, fabricado por la empresa Sueca Tetra Pak, perteneciente al grupo Tetra Laval, la cual nació en 1951, pero introdujo el material hacia 1961. Hoy en día, Tetra Pak tiene plantas en 170 países del mundo, de los cuales China y Brasil ocupan los dos primeros lugares en operaciones (Environmental and Social Report Tetra Pak, 2009).

Este envase es destinado principalmente para la industria alimenticia, el cual gracias a sus seis capas o barreras de protección, permite que los alimentos permanezcan en óptimas

condiciones durante un largo período de tiempo sin la necesidad de conservantes, químicos y/o refrigeración (Tetra Pak, 2014).

Composición del Tetra Pak®

Los envases de Tetra Pak® poseen seis capas, las cuales son fabricadas a partir de 3 componentes básicos: Cartón, polietileno y aluminio. El polietileno y el papel son materias primas vírgenes, configurando un producto de altísima calidad. Con el fin de contribuir al medio ambiente, la empresa Tetra Pak empezó a utilizar hacia el año 2008, polietileno producido a partir de etanol proveniente de la caña de azúcar (Environmental and Social Report Tetra Pak, 2009). A continuación se describe la proporción y la función de cada uno de los componentes dentro del envase:

- a. **Cartón:** Es el principal material y provee estabilidad y resistencia al envase y compone el 75% del mismo.
- b. **Polietileno:** Posee tres capas de polietileno que permite que el envase sea impermeable y previene el contacto del alimento con el aluminio. Además, protege al envase de diferentes agentes externos y permite la adherencia entre el cartón y el aluminio. Comprende el 20% del total del envase.
- c. **Aluminio:** La lámina de aluminio protege al alimento de la presencia de oxígeno, luz y microorganismos de forma que se mantiene el valor nutricional y el sabor de las bebidas aunque se encuentre a temperatura ambiente (Tetra Pak, 2014) (Von Zuben, Osrato, & Van Wassenhove, 2007).

Usos del Tetra Pak®

Los envases de Tetra Pak® son utilizados para almacenar bebidas que requieren frío para su conservación, como las bebidas pasteurizadas o aquellas que contienen probióticos como los yogures, evitando la necesidad de refrigerarlos (Tetra Pak, 2014). Estos envases tienen un destino netamente doméstico, siendo encontrados al alcance del público en general en tiendas y supermercados.

En Colombia, el 88% de los envases Tetra Pak® que se encuentran son la referencia Tetra Brik Aseptic®. Este tipo de envase posee forma cuadrada y su fibra de papel es marrón. El 12% restante se compone de envases como el Tetra Classic Aseptic® el cual tiene forma de tetraedro y su fibra de papel es blanca (Tetra Pak Colombia, 2013).

Según ha informado Tetra Pak Colombia, el principal mercado para las bebidas envasadas en Tetra Pak® son los hogares de estratos 5 y 6 y las instituciones educativas.

Clasificación del Tetra Pak® como residuo

Luego de concluir su vida útil como envase, el Tetra Pak® se convierte en un residuo, el cual según lo anteriormente expuesto acerca de los diferentes tipos de residuos, puede ser clasificado tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 - Clasificación del Tetra Pak® como residuo

Categoría	Clasificación	Observación
Por su estado físico	Sólido	Material compuesto por plástico, aluminio y papel.
Por su composición química	Orgánico e Inorgánico	El papel es un residuo orgánico proveniente de la celulosa, mientras que el polietileno es un residuo inorgánico proveniente del petróleo.
Por su riesgo potencial	No peligroso	No contiene sustancias que representen peligro para la salud.
Por su procedencia	Urbano o doméstico	Se destina para el mercado general para usos domésticos.

Fuente: Elaboración propia

El Tetra Pak®, por ser un material compuesto, es un material difícil de reciclar, dado que requiere de procesos y tecnología puntuales, por lo cual se dispone tradicionalmente en rellenos sanitarios, lo cual no es sostenible. Por otra parte, su reciclaje tiene otras implicaciones importantes como la necesidad de ser separados entre otros residuos domésticos, la recolección de los mismos, su procesamiento para recuperar sus componentes por separado y la consecuente venta de estos materiales recuperados a precios competitivos. (Von Zuben, Osrato, & Van Wassenhove, 2007).

Logística inversa de residuos sólidos urbanos no peligrosos

Los residuos sólidos urbanos no peligrosos, categoría en la que previamente se ha clasificado el Tetra Pak®, tiene una clasificación interna en la que se distinguen los diferentes residuos:

- a. **Vidrio:** Envases de cristal, frascos, botellas.
- b. **Papel y cartón:** Periódicos, revistas, embalajes de papel, cartón.
- c. **Envases:** Plásticos, Tetra Pak®, latas.
- d. **Orgánicos:** Restos de comida, de poda.
- e. **Residuos especiales:** Aparatos eléctricos, muebles, ropa, calzado (Euroformación Consultores, 2012).

Con el fin de dar una correcta disposición a estos residuos, es importante tener en cuenta los diferentes métodos que existen para acumular los residuos, previo a su disposición final.

Inicialmente se identifica una etapa de **Pre-recogida**, la cual se caracteriza porque es aquella en la que se llevan a cabo las operaciones de generación, acopio y acumulación de residuos urbanos hasta el momento en el que las entidades municipales pertinentes entren a recoger los mismos (Euroformación Consultores, 2012).

Posterior a esta etapa, se da la **recogida** de los residuos para lo cual las autoridades y las entidades municipales establecen horarios y formas de recolección dependiendo de los lugares a los cuales sea necesario llegar (Euroformación Consultores, 2012). Dentro de las formas de recolección se evidencian diferentes tipos:

Recolección selectiva: Consiste en introducir los diferentes tipos de residuos generados en los hogares en distintos contenedores, separando desde el origen la composición de la basura de forma que la materia orgánica, el vidrio, el plástico, el papel y los envases laminados como el Tetra Pak, además de los residuos especiales como pilas, aparatos eléctricos y electrónicos se almacenan aparte previo a la recolección por parte de los entes municipales. Es la forma más eficaz de recolección puesto que los residuos son separados desde la fuente, evitando procedimientos posteriores que implican mayores costos en el proceso de logística inversa. Sin embargo, es claro que para este tipo de recolección se requiere contar con un alto compromiso de la ciudadanía o con una reglamentación estricta que actualmente no se tiene en Colombia. Dentro de la recolección selectiva se diferencian dos subcategorías de la siguiente manera:

- a. **Recogida de aportación:** Los usuarios disponen los residuos en contenedores dispuestos por los entes municipales en lugares estratégicamente ubicados con el fin de realizar un acopio de una importante cantidad de residuos a la vez, previo a la recogida. Este tipo de recolección es el más difícil de lograr puesto que requiere un esfuerzo adicional por parte del generador de los residuos, el cual es disponer los mismos en un lugar puntual no necesariamente cercano al lugar de generación del residuo.
- b. **Recogida puerta a puerta:** Los entes municipales prestadores del servicio de aseo llegan directamente a los hogares para recoger los contenedores, que en general son bolsas donde se almacenan los residuos (Euroformación Consultores, 2012).

Recolección no selectiva o de residuos mezclados: Es la que se practica al acumular todos los tipos de residuos en un mismo contenedor, sin separarlos por su composición. El generador del residuo, así como el recolector realizan un mínimo esfuerzo. Esto dificulta las labores de selección y clasificación de los residuos para una posterior recuperación de los mismos y genera que sean destinados a los rellenos sanitarios, desperdiándose el valor agregado que su reciclaje pudiera generar. Este es un tipo de recolección típica en la mayoría de ciudades del país para los estratos medios y bajos. (Sbarato, 2009).

Recolección neumática: En países como España, existe un sistema bajo el cual el desecho es depositado en un contenedor subterráneo y posteriormente atraído hacia puntos centrales por medio de un sistema de aspiración. Este tipo de recolección de residuos puede presentar la variante de ser selectiva o no selectiva, sin embargo en este tipo de países la normatividad regula a los ciudadanos para que realicen una adecuada separación en la fuente (Euroformación Consultores, 2012). En Colombia este tipo de recolección no se evidencia debido a la complejidad en su infraestructura, lo cual no es prioritario para los entes gubernamentales.

Aprovechamiento de los envases de Tetra Pak®

La logística inversa de los envases de Tetra Pak® empieza a ser relevante hacia inicios de 1990, cuando en Canadá se crea una técnica bajo la cual el envase, posterior a ser molido, se prensa para formar aglomerados, los cuales se utilizan para fabricación de tejas y mobiliario (Answers, 2014).

A partir de allí, la misma empresa Tetra Pak, toma el compromiso de reducir su huella de carbono a través de la recuperación de envases de Tetra Pak® usados. La meta de Tetra Pak es alcanzar un 40% de recuperación y reciclaje de envases para el 2020 y lograr para el mismo año una reducción de sus emisiones de carbono a través de toda su cadena de valor en los niveles que se tuvieron en 2010, sin importar el crecimiento del negocio. Para el año 2012 se logró una recuperación y aprovechamiento de 39 mil millones de envases, siendo el 22.9% del total de envases producidos y comercializados en el mundo. En 2001, se evidenció una recuperación de 12 mil millones de envases, que representaban el 13% de los envases, lo cual muestra que una década se duplicó el porcentaje de recuperación (Exceeding Customer Expectations, Tetra Laval 2012/2013, 2013).

El Tetra Pak®, siendo un material compuesto, puede ser aprovechado en varias maneras, de forma que se pueden obtener materiales derivados, o bien la separación de cada uno de los materiales que lo conforman para devolverlos al inicio de la cadena.

Repulpeo: En vista de que el 75% parte del Tetra Pak® es papel, el paso inicial en la recuperación de los materiales que componen el envase es la separación del papel de las capas de polietileno y aluminio. Esto se realiza a través de la técnica de *Repulpeo*, en la cual se introducen los envases en un “hidropulper”, al cual se le adiciona agua. Gracias a un proceso de agitación, se separan y recuperan las fibras de celulosa, que posteriormente pueden ser utilizadas para producción de papel. (Tetra Pak Cuadernillo de contenidos y sugerencias para el docente)

El subproducto de polietileno y aluminio restante se puede recuperar de las siguientes formas:

- **Pirólisis:** Bajo esta técnica es posible separar el aluminio del polietileno, mediante la aplicación de altas temperaturas en un ambiente inerte o fuera de oxígeno para evitar la combustión del polietileno. Así se logra obtener lingotes de aluminio de alta pureza y el polietileno se gasifica para ser usado en forma de energía. Este proceso es autosostenible, ya que la cámara se calienta usando el aceite y gas obtenido del proceso.
- **Tratamientos químicos:** Otra forma para separar el polietileno del aluminio es un tratamiento químico que reduce la adhesión entre las capas, para posteriormente separarlas mecánicamente.
- **Producción de placas aglomeradas y pellets:** Se utiliza el polietileno y el aluminio sin ser separados. Dado que estos salen molidos gracias al proceso de repulpeo, se introducen en una prensa que comprime el material a alta temperatura para formar placas para uso en construcción como tejas y placas aglomeradas. Con el polialuminio también se hace extrusión de pellets para la industria del plástico (Tetra Pak, 2014).

Marco de Referencia

Dada la necesidad de aumentar el aprovechamiento de residuos sólidos en Colombia, y considerando que la empresa Tetra Pak Colombia concentra sus esfuerzos de recuperación de envases en las principales ciudades del país como lo son Bogotá, Medellín y Cali, se toma entonces como marco de referencia para el diseño de una red de logística inversa para envases de Tetra Pak® a la ciudad de Manizales, buscando que este trabajo aporte al aumento de la cantidad de envases recuperados en el país, ubicando un nuevo lugar geográfico de importancia en su recuperación.

Siendo así, se busca entonces diseñar un proceso logístico que permita la recuperación de los envases de Tetra Pak® en la ciudad de Manizales, basado en las instituciones educativas como una de las principales fuentes de generación del residuo, según lo informado por Tetra Pak Colombia. Para ello, se buscará conocer los volúmenes aproximados de generación del residuo en un período de tiempo, de modo que ello permita calcular las necesidades de capacidad de un centro de acopio en la misma ciudad, donde los envases tendrán un proceso de preparación y de donde posteriormente puedan ser enviados vía terrestre hacia una de las plantas de recuperación del material ya existentes en Colombia.

Gracias a lo anterior se espera llegar a plantear alternativas para la recolección eficiente de este tipo de envases, teniendo en cuenta las variables económicas que definen la viabilidad de su implementación y el papel de la empresa Tetra Pak Colombia dentro de este proceso.

Capítulo I: Estrategia de recolección de envases

En el diseño de la red de logística inversa de envases de Tetra Pak® en la ciudad de Manizales, enfocada en los mayores generadores, se identifican cuatro actores en la cadena:

- a. Generadores de carga:** Son los generadores del residuo de Tetra Pak®, los cuales según expone Tetra Pak Colombia, son los estudiantes y los hogares de estratos más altos de la sociedad, sin embargo, esta empresa también ha indicado que el Tetra Pak® fue creado pensando en la necesidad de la no refrigeración, lo cual beneficia a las familias de menores estratos que posiblemente no tengan una nevera. Adicional a ello, diferentes estrategias comerciales que ofrecen establecimientos entre los cuales se encuentran las cadenas D1, Ara, entre otros, ofrecen los productos envasados en Tetra Pak® a precios que pueden llegar a ser incluso de la mitad que en otros establecimientos, compitiendo directamente con los mismos productos envasados en materiales que sí requieren refrigeración. Considerando lo anterior, los generadores de carga a considerar en este estudio son los estudiantes vinculados a las instituciones educativas de la ciudad de Manizales y en el estudio se buscará entender cómo sería posible acopiar el volumen generado en los hogares de los mismos estudiantes, pero teniendo como fuente las instituciones para su recolección.
- b. Transporte:** Medios por los cuales se hará llegar el residuo desde los generadores hacia su destino que será un centro de acopio en la ciudad de Manizales.
- c. Centro de Acopio:** Lugar al cual llegará el residuo y donde tendrá lugar el alistamiento del mismo para poder ser enviado al cliente final. El centro de acopio deberá tener una un proceso productivo, una capacidad de producción derivada de las características del proceso y una localización estratégica que permita llevar a cabo el proceso en las mejores condiciones.
- d. Cliente:** Son aquellas plantas de aprovechamiento del material, las cuales, según lo que fue descrito, se encuentran en las principales ciudades del país.

La Figura 4 muestra un esquema de la relación existente entre cada eslabón de la cadena de logística inversa y las variables a considerar dentro del diseño del Centro de Acopio.

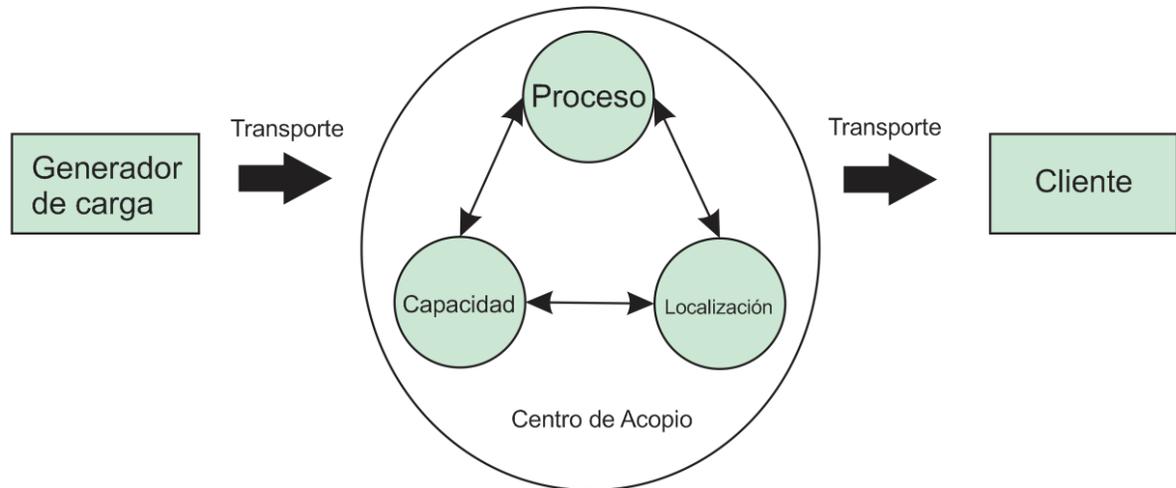


Figura 4 - Actores en la cadena de logística inversa

1.1. Planteamiento de alternativas de recolección de envases de Tetra Pak®

Dado que los generadores de carga son los estudiantes de las instituciones educativas de la ciudad de Manizales, se plantearán alternativas de recolección considerándolas como el foco principal para la recuperación de estos envases. Para ello se requiere inicialmente investigar los volúmenes aproximados de producción de este tipo de residuo en las instituciones educativas de la ciudad de Manizales y la forma cómo el residuo será entregado por los generadores.

Considerando adicionalmente que los hogares son importantes fuentes de generación del residuo según la información suministrada por Tetra Pak Colombia, se buscará además consultar los volúmenes aproximados de generación en los hogares de los estudiantes de las diferentes instituciones y determinar dentro de las alternativas planteadas, la posibilidad de incluir los volúmenes generados en los hogares de los estudiantes, pero como fue expresado anteriormente, entendiendo la forma de que este volumen generado en el hogar sea posible recolectarlo en las instituciones educativas.

Dada la falta de documentación y fuentes de información que permitan conocer estos volúmenes de residuo generado en la ciudad de Manizales, para lo cual se recurrió a entidades como EMAS y la consulta del PGIRS de la ciudad de Manizales, encontrando que no existe documentación ni datos sobre volúmenes generados, se procede entonces a la realización de un estudio estadístico basado en la aplicación de una encuesta a los estudiantes de las instituciones educativas que permitan llevar a conocer el volumen de producción del residuo.

1.1.1. Aplicación de encuesta

Objetivo de la encuesta: Conocer los volúmenes aproximados de residuos de Tetra Pak® generados por las instituciones de educación básica primaria, bachillerato, media académica y superior de la ciudad de Manizales y la forma más habitual de desecharlos, adicional a los

volúmenes generados en los hogares de los estudiantes y la intención de contribuir a la correcta disposición de los mismos si se dieran todas las condiciones para ello.

Para la aplicación de la encuesta se sigue la siguiente metodología:

- a. **Diseño del cuestionario inicial:** Dado el objetivo de la encuesta, se realiza el diseño de un cuestionario que permita conocer la forma en la que los diferentes estudiantes de las instituciones educativas de Manizales disponen los residuos de Tetra Pak®. El cuestionario inicial se puede evidenciar en el Anexo 1.
- b. **Consulta de cantidad de instituciones educativas en Manizales y su población estudiantil:** Se consulta con la Secretaría de Educación de la ciudad de Manizales, la población estudiantil por institución educativa de básica primaria, bachillerato y media académica. Adicionalmente se consulta de manera particular con las instituciones de educación superior con presencia en la ciudad, acerca de su población estudiantil para el primer semestre de 2016. El listado de las 76 instituciones contempladas en el estudio con su respectiva población estudiantil se encuentra en el Anexo 2. Este es el total de instituciones que aportaron la información sobre su población dentro del período de tiempo destinado para la consulta. Las demás instituciones, principalmente universidades, que se encuentran por fuera del listado fueron aquellas, que aunque se consultó su población, no dieron respuesta sobre ello.
- c. **Realización de prueba piloto:** Al azar se determinan las instituciones educativas en las cuales se aplicará la encuesta y se realiza una prueba piloto de entre 15 y 20 encuestas para determinar la necesidad de hacer ajustes al cuestionario y para obtener los datos de la proporción requerida para el cálculo de la muestra a la cual se aplicará la encuesta final. Las instituciones elegidas para la aplicación se encuentran en el Anexo 3. Los detalles del resultado de la prueba piloto se evidencian en el Anexo 4.
- d. **Realización de ajustes al cuestionario:** Posterior a las conclusiones derivadas de la aplicación de la prueba piloto, se realizan ajustes al cuestionario, el cual se evidencia en su versión final en el Anexo 5.
- e. **Determinación de la muestra para aplicar la encuesta final:** A través de la metodología de muestreo aleatorio simple, se determina el tamaño de la muestra a la cual se deberá aplicar la encuesta en cada institución educativa seleccionada. El resultado del análisis para la determinación de la muestra se encuentra en el Anexo 6.
- f. **Aplicación de la encuesta final:** Se visitan las instituciones educativas seleccionadas para aplicar el cuestionario ajustado al número de personas según el análisis de determinación de la muestra.
- g. **Análisis de resultados:** Se realiza la respectiva tabulación de los resultados obtenidos, analizando cada institución educativa y obteniendo finalmente un conglomerado de resultados. El detalle de los resultados por institución educativa se evidencia en el Anexo 7.

1.1.2. Resultados obtenidos de la encuesta

Luego de realizar el respectivo análisis de datos de la encuesta aplicada, considerando un nivel de confiabilidad del 95% y un margen de error del 5%, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. La Figura 5 muestra el porcentaje de encuestados que consume bebidas envasadas en Tetra Pak®. Como puede observarse, en promedio, el 62% de los estudiantes de cada institución educativa consume bebidas envasadas en Tetra Pak® en su lugar de estudios.



Figura 5 – Promedio de estudiantes por institución educativa que consume bebidas envasadas en Tetra Pak®

2. La Tabla 3 presenta el número promedio de bebidas consumidas por estudiante por semana en cada una de las instituciones consideradas en el estudio. En promedio, el número de bebidas consumidas por estudiante por semana es de 2.5 bebidas.

Tabla 3 - Promedio de bebidas envasadas en Tetra Pak® consumidas por estudiante por semana

IE Adolfo Hoyos	IE Chipre	ENSC	ENSM	Unitécnica	Leonardo Da Vinci	Perpetuo Socorro	Filipense	Colángeles	San Miguel	Colcristo	U Caldas	UNAL	Promedio
1.21	2.58	2.37	3.18	2.43	1.15	3.86	3.61	3.55	2.42	1.73	2.41	2.64	2.50

3. La Figura 6 presenta la distribución porcentual de encuestados que, luego de consumir la bebida, dejan o no residuo de la misma en el interior del envase. Se concluye que en promedio, el 89% de las personas que consumen bebidas envasadas en Tetra Pak® en su lugar de estudios consumen la totalidad de la bebida.

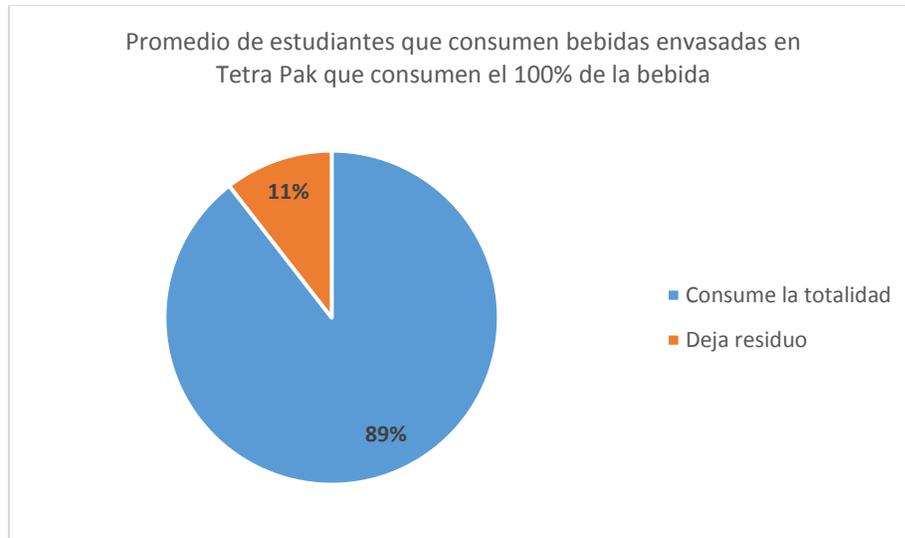


Figura 6- Proporción de estudiantes que consumen la totalidad de la bebida

- La Figura 7 presenta la distribución en la que los encuestados disponen el residuo de Tetra Pak® luego de haber sido consumida a bebida. Se evidencia entonces que, en promedio, un 65% de las personas que consumen bebidas envasadas en Tetra Pak® en su lugar de estudios, disponen el residuo mezclado con todos los demás residuos, un 30% disponen los residuos junto con una categoría similar de residuos como papel y cartón o plástico y un 5% disponen los residuos en contenedor exclusivo para residuos de Tetra Pak®

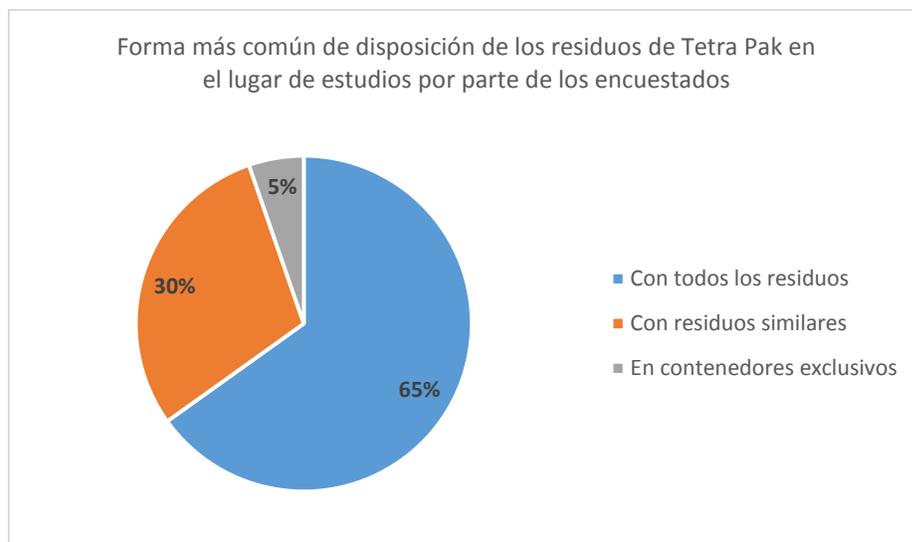


Figura 7- Forma más habitual de disposición del residuo de Tetra Pak® en el lugar de estudios

5. La Figura 8 muestra el porcentaje de personas que estarían dispuestas a contribuir con la correcta disposición de los envases si se dieran las condiciones para ello. Como puede evidenciarse, en promedio, un 95% de las personas que consumen bebidas envasadas en Tetra Pak® en su lugar de estudios, estarían dispuestas a aportar a la óptima disposición de estos residuos, aplanando el envase y no dejando residuo en su interior y depositándolo en un contenedor exclusivo para residuos de Tetra Pak® en caso de que fuera puesto en su lugar de estudios.

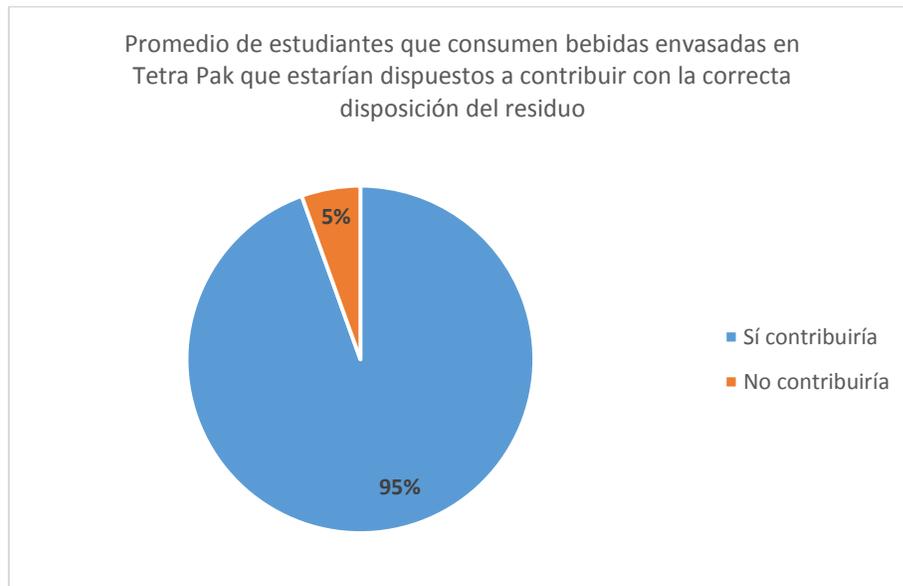


Figura 8 - Proporción de estudiantes dispuestos a contribuir con la correcta disposición de residuos de Tetra Pak®

6. La Figura 9 presenta el porcentaje de encuestados en cuyos hogares se consumen bebidas envasadas en Tetra Pak®. Se puede concluir que, en promedio, el 75% de los encuestados consume bebidas envasadas en Tetra Pak® en su hogar.

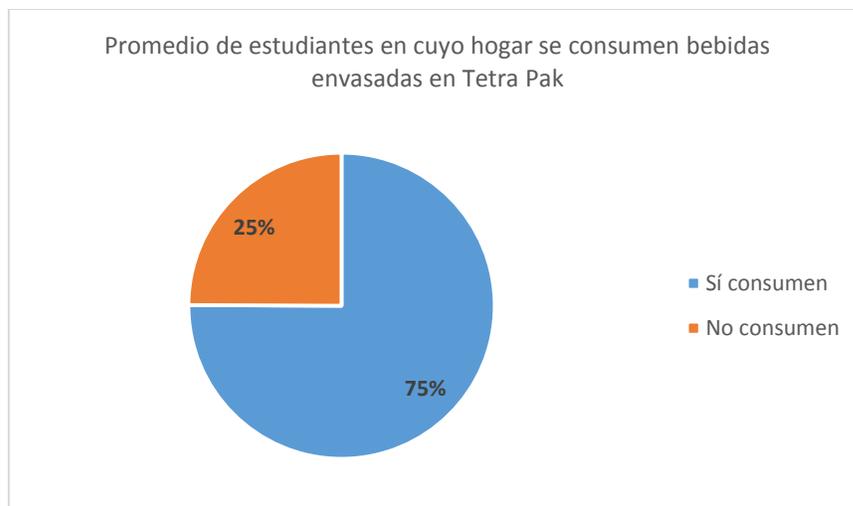


Figura 9 - Proporción de estudiantes en cuyos hogares se consumen bebidas envasadas en Tetra Pak®

- La Tabla 4 muestra el promedio de bebidas consumidas por semana en el hogar de los estudiantes de cada institución educativa considerada en el estudio. En promedio, en los hogares de las personas que consumen bebidas envasadas en Tetra Pak® se consumen 4.06 bebidas por semana

Tabla 4 - Promedio de bebidas envasadas en Tetra Pak® consumidas por hogar por semana

IE Adolfo Hoyos	IE Chipre	ENSC	ENSM	Unitécnica	Leonardo Da Vinci	Perpetuo Socorro	Filipense	Colángelos	San Miguel	Colcristo	U Caldas	UNAL	Promedio
2.99	3.56	4.80	3.40	4.17	3.83	4.99	4.73	4.40	4.10	3.45	4.14	3.78	4.06

- La Figura 10 muestra el porcentaje de encuestados en cuyos hogares se consumen bebidas envasadas en Tetra Pak® que estarían dispuestos a contribuir con la recolección de los residuos allí generados. Se concluye que en promedio, un 87% de las personas que consumen bebidas envasadas en Tetra Pak® en el hogar, estarían dispuestas a recolectar los envases, aplanarlos y no dejar residuo en el interior para disponerlos en su lugar de estudios si allí se ubicara un contenedor exclusivo para recolección de envases de Tetra Pak®

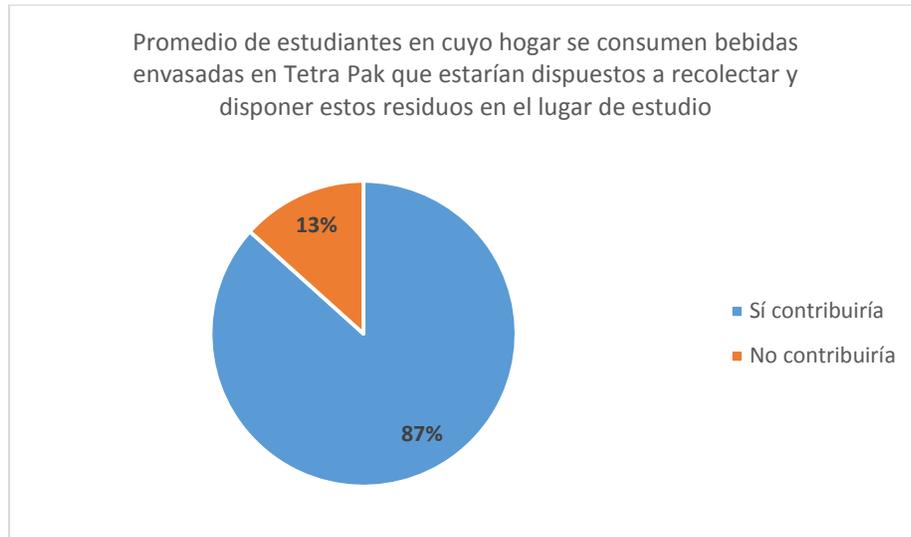


Figura 10 - Intención de contribución de los estudiantes con la recolección de envases de Tetra Pak® en los hogares para disponerlos en el lugar de estudios

Dados los resultados de la encuesta aplicada, y considerando que un envase de Tetra Pak® tamaño personal tiene un peso promedio de 12 gramos, se calculan los volúmenes de residuo de Tetra Pak®, escalando los datos hacia el total de las instituciones educativas de Manizales consideradas en el estudio (76 instituciones). Los valores se obtienen considerando el promedio de bebidas consumidas por un estudiante en un período de una semana multiplicado por su población, considerando una confiabilidad del 95% y un margen de error del 5%. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 - Volumen de residuo de Tetra Pak® producido en las instituciones de la ciudad de Manizales

Descripción	Cantidad por semana (kg)
Total de residuo producido en las instituciones	2,110.68
Residuo con posibilidad de contener parte de la bebida	221.67
Residuo que se dispone mezclado con todo tipo de residuos	1,374.36
Residuo que se dispone con residuos similares	624.47
Residuo que se dispone en contenedor exclusivo	111.85
Residuo posible a recolectar si se ubican contenedores	1,994.85
Total residuo producido en los hogares de estudiantes	2,974.01
Residuo producido en hogares posible a recolectar en instituciones	2,577.38

Es de considerar que se toma el peso promedio de un envase de Tetra Pak® tamaño personal, pero los envases consumidos en los hogares podrían ser tamaño familiar tales como la leche. Esto podría significar un mayor volumen a recolectar, pero dado que no se conoce la

proporción exacta de consumo por tamaño de envases, se trabaja con el peso promedio del envase tamaño personal.

1.1.3. Alternativas de recolección de envases de Tetra Pak®

Según los resultados de la encuesta aplicada en instituciones educativas de la ciudad de Manizales, y luego de escalar tales resultados para determinar el volumen total que se produce en las instituciones y en los hogares, se puede determinar entonces que el residuo de Tetra Pak® es posible encontrarlo en tres escenarios diferentes, tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 - Escenarios en los que se puede encontrar el residuo de Tetra Pak®

Escenario ideal	Tetra Pak® clasificado desde la fuente como una categoría de residuo aparte de los demás, previamente aplanado y libre de residuo de la bebida. Es importante además aclarar que los envases pueden llevar pitillos o tapas plásticas, ya que en el proceso de aprovechamiento estos materiales no tienen efectos negativos.
Escenario medio	Tetra Pak® clasificado dentro de una categoría de residuos aprovechables existente como la categoría Papel y Cartón o la categoría Plástico. Este escenario es más probable que el ideal, debido a que las personas pueden asociar el material con uno de esta categoría debido a su apariencia. Adicional a ello, los puntos ecológicos están diseñados separando papel y plástico, siendo esta una motivación para que se depositen estos envases en tales contenedores.
Escenario desfavorable	Tetra Pak® recolectado junto con residuos no aprovechables, materia orgánica e incluso residuos peligrosos. El residuo podría incluso contener importantes cantidades de la bebida. Este es un escenario de alta probabilidad debido a la falta de cultura de separación de residuos en la fuente. Adicionalmente, pueden existir instituciones donde no se tengan puntos ecológicos que busquen separar los residuos, incitando a la población a mezclar todos los residuos en un único contenedor.

Dados los resultados en cuanto a la forma de disposición del material, y considerando la intención de los encuestados de aportar a una correcta disposición del material, se plantean tres alternativas para la recolección de residuos de Tetra Pak® para su posterior alistamiento y se realiza un análisis preliminar de posibles ventajas y desventajas, tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7 - Alternativas de recolección de envases de Tetra Pak® en las instituciones educativas de Manizales

Alternativa	Descripción de la alternativa	Ventajas	Desventajas
<p>a. Recolección de envases entre todos los residuos</p>	<p>Disposición de personal para realización de visitas a los colegios con el fin de seleccionar entre todos los residuos, los envases de Tetra Pak® para llevarlos posteriormente al centro de acopio.</p>	<p>*Cero costos por campañas de concientización *Gestión de permisos mínima con las instituciones educativas debido al nulo contacto del personal con los estudiantes.</p>	<p>*Altos costos en mano de obra que seleccione y recolecte envases *Alto porcentaje de envases contaminados con residuo de la bebida y derivado de otros residuos. *Poca probabilidad de encontrar envases aplanados. * No se cuenta con el volumen generado en los hogares. *No generación de conciencia ambiental en la población estudiantil.</p>
<p>b. Compra de residuos a las instituciones educativas</p>	<p>Se negocia con las instituciones educativas un valor de compra por volumen de residuo, el cual deberá ser entregado en óptimas condiciones: Aplanado, sin residuo en el interior y separado de otros residuos.</p>	<p>*La institución educativa recibe recursos adicionales que pueden ser un incentivo para el acopio de los residuos. *La logística de separación y recolección se transfiere a la institución educativa. *Posibilidad de recolección de residuos generados en los hogares de los estudiantes e incluso docentes *Mayor garantía de recibir el residuo en las condiciones requeridas.</p>	<p>*Políticas de instituciones educativas posiblemente no permitan la compra de los residuos. *La tercerización del proceso de acopio podría no ser efectiva. *La generación de conciencia ambiental podría ser pobre dado a que la institución educativa puede tomarlo como un negocio más que como un aporte al medio ambiente</p>
<p>c. Alianzas con instituciones educativas para recolección de envases + Alianzas con fundaciones para campañas y recolección</p>	<p>Disposición de contenedores en comodato para la recolección exclusiva de envases de Tetra Pak® y campañas para la recolección de envases en óptimas condiciones: Aplanados y sin residuo de la bebida. Alianza con fundaciones que se encarguen de la logística de ubicación de contenedores y las campañas educativas en temas ambientales y sociales según el objeto de la fundación, dándoles un incentivo económico por kg recolectado para su actividad social.</p>	<p>* Generación de conciencia en los estudiantes y docentes. * Posibilidad de acopio de los volúmenes generados en los hogares de los estudiantes e incluso docentes. * Mayor garantía de recibir el producto en las condiciones requeridas. * Doble aporte: Medio ambiente y responsabilidad social al aportar además al funcionamiento de las fundaciones. * Dado que las fundaciones funcionan con voluntariados, se disminuyen los costos por mano de obra.</p>	<p>*Permisos dispendiosos para la posibilidad de realización de campañas y disposición de contenedores. * Costo de adquisición de contenedores.</p>

1.2. Análisis y elección de alternativa de recolección de envases de Tetra Pak®

Para elegir la alternativa con la cual se haría la recolección del material en la fuente de generación, definidas como las instituciones educativas de Manizales, se realizará el análisis del volumen posible a recuperar contrastado con los costos aproximados de la operación, considerando el volumen máximo posible a recolectar en cada escenario y el impacto ambiental y social generado.

Alternativa A. Recolección entre todos los residuos: La Tabla 8 describe el detalle de los factores considerados en la Alternativa A.

Tabla 8 - Descripción Alternativa A para la recolección de envases

Volumen máximo posible a recolectar	2.110,68 kg/semana, de los cuales 221.67 kg podrían tener residuo en el interior. Total recolectado por mes: 8.442,72 kg
Operación	Se dispone un recolector para realizar visita a las instituciones educativas antes de que se realice la disposición de los residuos en los camiones de basura, de manera que se pueda extraer el residuo de Tetra Pak® previamente.
Costo de recursos requeridos	En este caso solo se requiere mano de obra, la cual tendría un costo de \$1.152.285 por mes, considerando todos los rubros legales para una persona cuya ganancia mensual es de un salario mínimo mensual legal vigente: Salario, auxilio de transporte, prima, cesantías, intereses sobre cesantías, vacaciones, dotación, pensión, salud, riesgos laborales al mínimo porcentaje y aportes institucionales y sin considerar horas extra.
Costo de transporte	Vehículo tipo Turbo con capacidad máxima de 4.5 ton Se asume pérdida de 1 ton, dado que el material se transporta suelto en bolsas. Costo por viaje: \$60.000* Viajes completos en el mes: 2** Kg movilizados en el mes: 7.000 kg Total costo en transporte por mes: \$120.000 Costo por kg: \$17,15
Costo total de operación y transporte	\$181.77 por kg

*Se cotiza el valor de un viaje en un vehículo tipo turbo entre el sector de villa pilar y el sector de Maltería, ya que es implica cruzar la ciudad y es una de las tarifas más altas, y considerando que no se tiene un ruteo específico, se trabaja con la tarifa más alta a considerar por viaje.

**El número de viajes mensual se calcula por capacidad de transporte del vehículo, buscando aprovecharla al máximo considerando que podría llevar 3.5 ton por viaje.

Alternativa B. Compra de los residuos a instituciones educativas: La Tabla 9 describe el detalle de los factores considerados en la Alternativa B.

Tabla 9 - Descripción Alternativa B para la recolección de envases

Volumen máximo posible a recolectar	4.572,23 kg/semana para un total recolectado por mes de 18.288,92 kg. Se considera el volumen producido por los estudiantes de la institución que estarían dispuestos a depositarlo en un contenedor exclusivo, además del residuo que los estudiantes estarían dispuestos a recolectar en el hogar y llevar a la institución.
Operación	La institución educativa entrega el material aplanado suelto en bolsas. Únicamente se contrata el transporte para llevar el material desde las instituciones hasta el centro de acopio.
Costo de compra de residuo de Tetra Pak® a la institución educativa	\$80 por kg.
Costo de transporte	Vehículo Turbo con capacidad máxima de 4.5 ton Se asume pérdida de 1 ton, dado que el material se transporta suelto en bolsas. Costo por viaje: \$60.000 Viajes completos en el mes: 5 Kg movilizados en el mes: 17.500 kg Total costo en transporte por mes: \$300.000 Costo por kg: \$17,15
Costo total de operación y transporte	\$97,15 por kg

Alternativa C. Alianzas con instituciones educativas y fundaciones: La Tabla10 describe el detalle de los factores considerados en la Alternativa C.

Tabla 10 - Descripción Alternativa C para la recolección de envases

Volumen máximo posible a recolectar	4.572,23 kg/semana para un total recolectado por mes: 18.288,92 kg Se considera el volumen producido por los estudiantes de la institución que estarían dispuestos a depositarlo en un contenedor exclusivo, además del residuo que los estudiantes estarían dispuestos a recolectar en el hogar y llevar a la institución.
Operación	Se disponen contenedores en las instituciones educativas que permitan la alianza. Las fundaciones visitan los colegios explicando su función social y la forma de recolectar fondos a partir de la recolección de material para reciclar como lo es el Tetra Pak®. Se contrata el transporte para llevar el material desde las instituciones hasta el centro de acopio.
Costo de contenedores	\$40.000 por contenedor Vida útil por contenedor: 2 años Número de contenedores requeridos: 76 Costo total de contenedores por año: \$3.040.000 Costo de amortización por kg: \$7*
Valor de aporte a la fundación por material recolectado	\$50 por kg
Costo de transporte	Vehículo Turbo con capacidad máxima de 4.5 ton Se asume pérdida de 1 ton, dado que el material se transporta suelto en bolsas. Costo por viaje: \$60.000 Viajes completos por mes: 5 Kg movilizados en el mes: 17.500 kg Total costo en transporte por mes: \$300.000 Costo por kg: \$17,15
Costo total de operación y transporte	\$74,15 por kg

*El valor total de los contenedores se divide entre el volumen aproximado a transportar hacia el centro de acopio en dos años, considerando 17.000 kg/mes promedio, esto daría un valor de \$7 a sumar a la materia prima para incluir en el costo de la misma el valor de los contenedores.

Existe una consideración adicional a tener en cuenta, y es que durante las vacaciones de las instituciones educativas de mitad y fin de año, se imposibilita la recolección del material si se considera la alternativa B (Compra del residuo a las instituciones). La alternativa A (Recolección entre todos los residuos de las instituciones) igualmente se ve limitada, puesto que si bien puede disponerse el personal para la recolección en otros lugares, dado que las instituciones educativas son una fuente de material en mayor volumen, esto podría significar

una alta ineficiencia en el proceso de recolección, aumentando aún más el costo por kg. Por su parte, la alternativa C (alianzas con fundaciones), podría representar, si bien no el mismo volumen de recolección que en temporada de estudios, se podrían ejecutar las campañas hacia zonas residenciales, conjuntos cerrados e instituciones de otro tipo como los centros de estudios de idiomas no considerados en este estudio, lo cual a diferencia de la alternativa A, no incrementaría los costos, dado que el valor pagado a la fundación es por el material recolectado, no representando un costo fijo.

Además de esta consideración, es necesario contemplar la generación de conciencia social y ambiental que se generaría en la población al vincular una fundación al proceso de recolección del material, donde las campañas estén diseñadas considerando los aspectos ambientales relevantes, y el aporte como responsabilidad social al realizar el aporte directamente a las fundaciones para su funcionamiento.

Dentro del costo, se debe tener especial control sobre el costo de transporte, el cual impacta de manera significativa el costo del residuo. Se debe garantizar que el costo no exceda los \$17,15 por kg, a pesar de que el vehículo deberá hacer recorridos extensos haciendo ruta por la ciudad visitando las diferentes instituciones. Este costo se puede mantener y disminuir, realizando una alianza con empresas de transporte que apoyen a las fundaciones, como se ha visto en el caso donde la empresa de transporte 472 aporta con el flete para la entrega de tapas plásticas de bebidas recolectadas para las fundaciones de niños con cáncer.

Dado lo anterior, considerando los costos por kg en el proceso de recolección, además de la mayor disponibilidad de material durante el período muerto de estudio y los aspectos sociales de carácter intangible, la opción elegida es la alianza con fundaciones para la recolección del residuo de Tetra Pak®, opción C.

Capítulo II: Proceso de alistamiento de los residuos de Tetra Pak®

A pesar de que se ha elegido la opción de recolección de material que implica la recepción del mismo en óptimas condiciones de separación en la fuente, es decir, en un escenario ideal, se asume que pueden llegar residuos de otro tipo al centro de acopio. Considerando lo anterior, se analizará el tipo de producto requerido por las plantas de aprovechamiento y el proceso necesario para que el material sea debidamente alistado.

2.1. Producto final requerido

Para definir el proceso productivo necesario para la preparación del material en el centro de acopio, se consulta con Tetra Pak Colombia la forma cómo las plantas de aprovechamiento esperan recibir el material.

Tetra Pak Colombia informa que el material se recibe en las plantas en dos presentaciones: Suelto empacado en bolsas o en pacas de material compactado, siendo la segunda la forma ideal de entrega cuando se trata de altos volúmenes y cuando se envía de ciudades ajenas a aquella en la que se encuentra ubicada la planta de aprovechamiento, dado que el material suelto representa mayor necesidad de espacio de almacenamiento y mayor costo de transporte.

Adicional a ello, Tetra Pak Colombia informó que el costo máximo de compra del material por parte de las plantas de aprovechamiento es de \$200 por kg puesto en sus instalaciones, valor que permitirá determinar la viabilidad económica del proceso.

Dado lo anterior, se analizan en un esquema general las dos alternativas para elegir una de ellas como la forma de entrega del material a las plantas destino tal como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11 - Alternativas de alistamiento de residuo de Tetra Pak®

Presentación	a. Compactado	b. Empacado
Descripción	Tal como cualquier otro tipo de basura, el material se compacta en bloques de máximo 25 kg y se asegura con amarras plásticas.	El material no sufre ninguna transformación, únicamente se recibe y se empaca en bolsas o costales.
Recursos requeridos en proceso	*Equipo compactador. *Personal para manejo de compactadora. *Amarras o zunchos. *Personal para amarre de bloques. *Equipo cargador para apilar los bloques compactados.	*Personal para empaque de envases en bolsas o costales.
Ventajas	*Se optimiza el volumen de residuo a transportar. *Permite un almacenamiento adecuado y optimizado. *Los zunchos plásticos con que se amarran los bloques pueden hacer parte del proceso de aprovechamiento en las plantas destino. *Mayores volúmenes alistados por unidad de tiempo.	*Proceso de alistamiento simple. *Poco personal y equipos requeridos.
Desventajas	*Costo de adquisición de compactadora *Mayor costo de proceso por energía requerida para funcionamiento de la compactadora.	*Subutilización de espacio de almacenamiento. *Bajos volúmenes transportados por viaje, aumentando el costo por kg puesto en destino.

Dado lo anterior, y buscando un proceso que permita una mayor productividad y una entrega acorde a las necesidades del cliente final, se considera que la manera más adecuada de alistamiento del producto es COMPACTADO, dado que el espacio por almacenamiento y por transporte deben ser optimizados al máximo, por lo cual será el producto final bajo la cual se diseñará el proceso productivo.

2.2. Proceso productivo

El proceso de alistamiento se concibe en cuatro fases que permitirán obtener el material COMPACTADO y listo para ser transportado a las plantas destino para su aprovechamiento en la producción de papel reciclado y aglomerados de polialuminio. Las etapas del proceso de alistamiento se plantean considerando que el material llegaría en condiciones óptimas de separación y sin residuo en su interior, pero teniendo en cuenta que puede existir un volumen mínimo de residuos de otro tipo que sería necesario separar para garantizar que el cliente final recibirá únicamente Tetra Pak® compactado sin contaminantes. En la Figura 11 se presenta el diagrama de operaciones del proceso que permitirá el alistamiento del material para ser posteriormente transportado a las plantas de aprovechamiento.

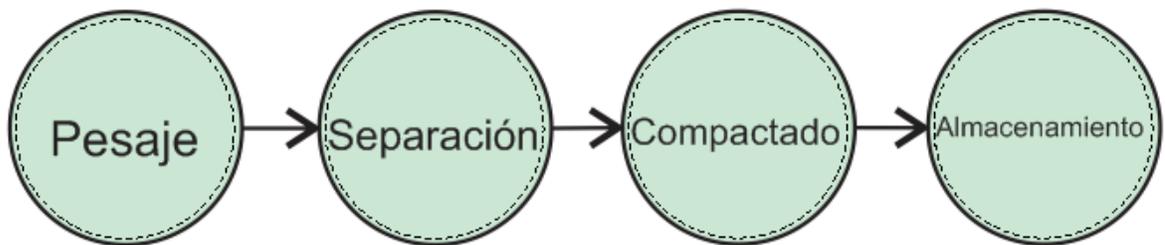


Figura 11- Diagrama de precedencia del proceso de alistamiento de residuos de Tetra Pak®

A continuación se describe el detalle de cada uno de los procesos mencionados en el diagrama de precedencia del proceso propuesto y los recursos asociados al mismo con su respectivo costo.

2.2.1. Operación 1: Pesaje e identificación

Consiste en la recepción del material y el pesaje del mismo en una báscula para hacer el respectivo registro en el inventario del material entrante. La Tabla 12 muestra el detalle de los equipos y recursos requeridos para llevar a cabo la operación.

Tabla 12 - Recursos requeridos para la operación de Pesaje e Identificación

Equipo / Recurso	Descripción	Costo
Báscula de 150 kg	Equipo para determinar el peso de los envases de Tetra Pak® recibidos en el centro de acopio	\$300.000 *
Operario de pesaje	Persona encargada de la recepción del material, pesaje del mismo en la báscula, registro del material y ubicación del material en la zona de almacenamiento. Este operario se comparte con la operación adyacente de Separación	1 SMMLV
Zona de almacenamiento de Materia Prima	Lugar destinado para ubicar el Tetra Pak® suelto que ingresa al centro de acopio como materia prima, previo al proceso de alistamiento.	Hace parte del costo de alquiler de bodega

*Valor cotizado a través de la página www.mercadolibre.com.co

En la Figura 12 se presenta la distribución de puesto de trabajo para la operación de Pesaje e identificación.



Figura 12- Vista superior layout de la Operación 1: Pesaje e Identificación

2.2.2. Operación 2: Separación de otros residuos

Consiste en separar el Tetra Pak® de cualquier otro tipo de residuo de manera que llegue libre de contaminantes al proceso de compactado. La Tabla 13 muestra el detalle de los equipos y recursos requeridos para llevar a cabo la operación.

Tabla 13 - Recursos requeridos para la operación de Separación

Equipo / Recurso	Descripción	Costo
Tolva de dosificación Estado: usada	Lugar donde se vierte el material que llega de las instituciones educativas para ser dosificado en una banda transportadora para el proceso de separación del material de los posibles contaminantes.	\$1.800.000*
Banda transportadora 2.45mx60cm Estado: Usada	Donde se vierte el material que ingresa, de manera que se vaya transportando y a la vez se pueda ir retirando el material que no es útil como latas, botellas, o cualquier otro tipo de residuo.	\$2.000.000*
Contenedor de residuos	Lugar donde se almacenarán los materiales que no hagan parte del proceso de aprovechamiento	\$40.000*
Operario de separación	Persona se encargará de la eliminación de los residuos diferentes al Tetra Pak®, depositándolos en el contenedor. Este operario se comparte con la operación precedente de pesaje e identificación.	1 SMMMLV
Contenedor de Tetra Pak® separado	Contenedor exclusivo al cual cae el Tetra Pak® separado desde la banda transportador	\$40.000*

*Valores cotizados a través de la página www.mercadolibre.com.co

En la Figura 13 se presenta la distribución de puesto de trabajo para la operación de Separación.

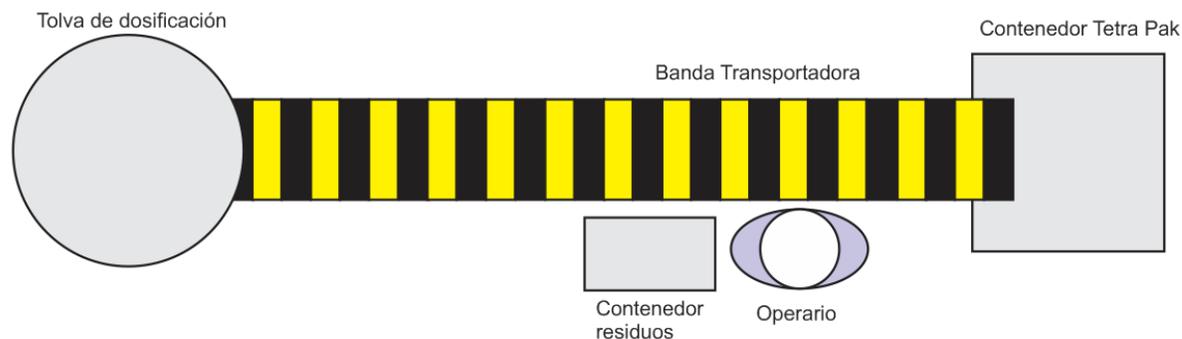


Figura 13- Vista superior layout operación 2: Separación

2.2.3. Operación 3: Compactado

Consiste en transformar el residuo suelto en un cubo compacto de aproximadamente 25 kg reduciendo el volumen a ocupar y logrando que se mantenga en la forma dada. La Tabla 14 muestra el detalle de los equipos y recursos requeridos para llevar a cabo la operación.

Tabla 14 - Recursos requeridos para la operación de Compactado

Equipo / Recurso	Descripción	Costo
Compactadora	Equipo en el cual se introducen los envases y a través de presión se logra dejar el material en forma de cubo con un peso máximo de 25 kg por cubo	\$10.000.000*
Operario de compactado	Persona encargada de introducir y retirar el material de la compactadora y el manejo de la misma. Este operario se comparte con la operación posterior de almacenamiento de producto terminado.	1 SMMLV
Amarras plásticas	Insumo que permitirá mantener la consistencia del cubo formado y evitar que se desarme.	\$20.000** por rollo de 500 metros.
Bisturí	Herramienta para cortar las amarras plásticas.	\$10.000** por unidad
Mesa	Lugar de ubicación del cubo compactado para realizar el proceso de amarre.	\$200.000**

*Valor de referencia para una compactadora nueva fabricada por la compañía Punto Hidráulico de la ciudad de Manizales

**Valores cotizados a través de la página www.mercadolibre.com.co

En la Figura 14 se presenta la distribución de puesto de trabajo para la operación de Compactado.

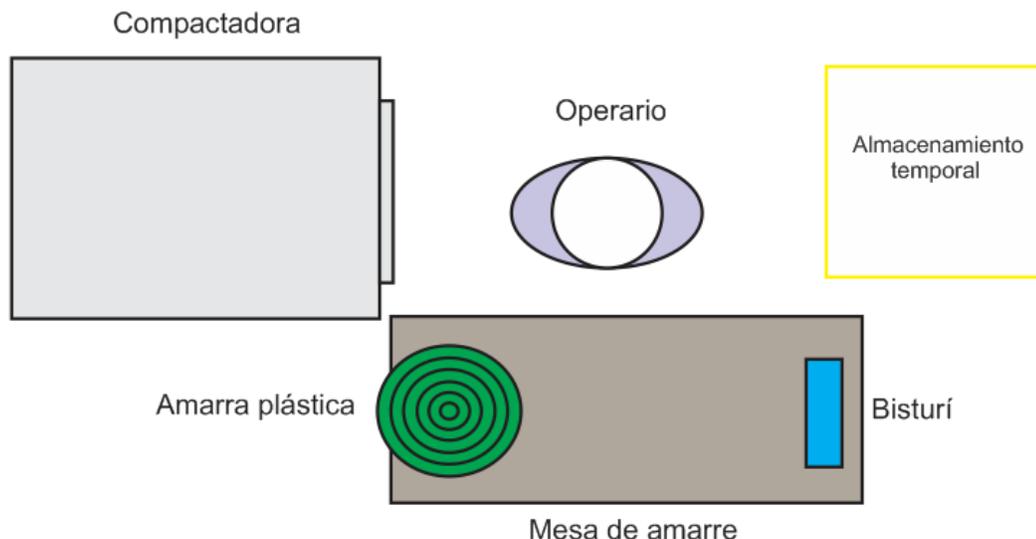


Figura 14- Vista superior layout operación 3: Compactado

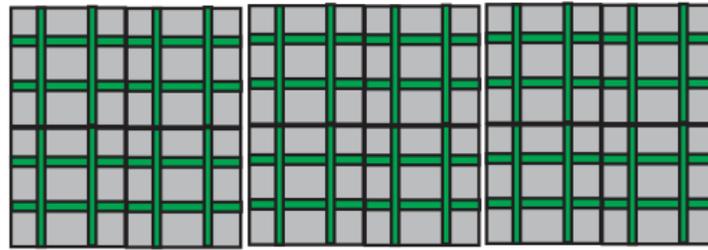
2.2.4. Operación 4: Almacenamiento

Proceso de organización y custodia del material previamente alistado de forma optimizada antes del cargue a los vehículos transportadores del material a las plantas destino. La Tabla 15 muestra el detalle de los equipos y recursos requeridos para llevar a cabo la operación.

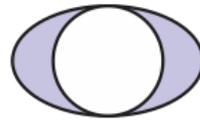
Tabla 15 - Recursos requeridos para la operación de Almacenamiento

Equipo / Recurso	Descripción	Costo
Estibador manual	Equipo para realizar el movimiento de las pacas de material compactado entre el proceso de compactado y el lugar de almacenamiento.	\$1.200.000
Operario de almacenamiento	Encargado de los movimientos entre el proceso y el almacenamiento, además del cargue de material a los vehículos de transporte a destino final. Este operario se comparte con la operación precedente de Compactado	1 SMMLV
Zona de almacenamiento de producto terminado.	Lugar destinado para posicionar las pacas de material compactado y listo para ser enviado a las plantas destino	Hace parte del costo de alquiler de bodega

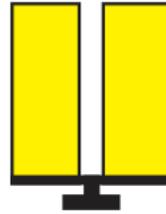
En la Figura 15 se presenta la distribución de puesto de trabajo para la operación de Almacenamiento. Por su parte, la Figura 16 muestra la distribución en planta de todo el flujo operativo para el alistamiento del material



Material compactado almacenado



Operario



Estibador manual

Figura 15 – Vista superior layout operación 4: Almacenamiento

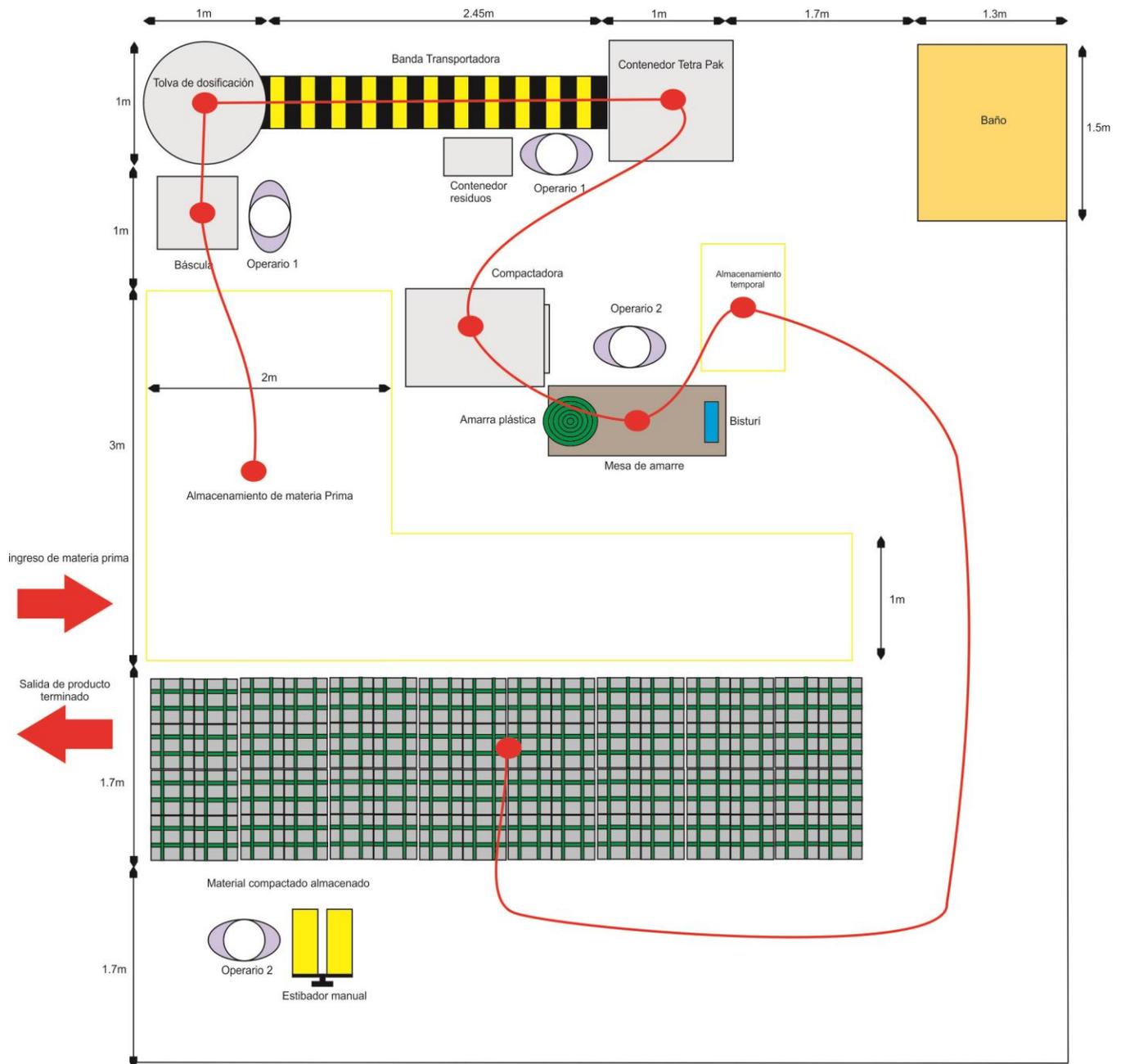


Figura 16 - Distribución en planta proceso completo de alistamiento de residuos de Tetra Pak®

La Tabla 16 presenta el resumen de los recursos requeridos en cuanto a maquinaria y equipos, mano de obra e insumos.

Tabla 16 - Resumen de costos asociados al proceso de alistamiento del residuo de Tetra Pak®

Concepto	Valor	Descripción
Maquinaria y Equipos	\$15.580.000	Correspondiente a los costos asociados de adquisición de: Báscula, banda transportadora, tolva de dosificación, contenedores, compactadora, mesa de amarre y estibador manual.
Mano de obra directa	\$38.409,5 por operario por día	Correspondiente al costo por operario liquidado con pago de un salario mínimo mensual legal vigente con todas sus prestaciones legales. Se requieren dos operarios.
Insumos	\$90.000 por mes	Correspondiente a cuatro rollos de amarras para volumen de 17.500 kg procesados mensualmente y un bisturí con reposición mensual

Considerando los espacios que ocupan los equipos y la forma como se propone la distribución, el requerimiento aproximado es de 63 m² de espacio en el centro de acopio, sin embargo, para contemplar la necesidad de crecimiento posterior, se trabajará con un requerimiento total de 80 m², dando 17m² adicionales para la ubicación de material en picos de trabajo, o la ubicación de una oficina posteriormente.

2.3. Capacidad productiva del centro de acopio

El tiempo de compactado, según se consultó con una empresa local propietaria de una compactadora de cartón, es de aproximadamente 10 minutos, en los cuales se obtienen pacas de máximo 25 kg.

Dado lo anterior, la productividad es de 180 kg/h para un total de 1.440 kg/turno, asumiendo un turno de 8 horas.

Considerando 24 días hábiles como un mes de producción, la capacidad del centro de acopio es de 34.560 kg mensuales de producción.

Considerando esta capacidad, el procesamiento de 17.500 kg de material por mes, que fue lo estimado según la disponibilidad de materia prima, equivale a un porcentaje de utilización del 50,6%.

Capítulo III: Localización y Análisis de viabilidad económica

La localización de un proyecto está determinada por criterios estratégicos y económicos y puede determinar el éxito o fracaso del proyecto, ya que se trata de una decisión de largo plazo que busca maximizar la rentabilidad del proyecto. La localización entonces debe analizarse considerando factores como la demanda, el transporte y la competencia. (Sapag Chain, Sapag Chain, & Sapag Puelma, 2014).

El análisis de ubicación conlleva la selección de una macrolocalización que permitirá descartar los sectores geográficos que no cumplan con las condiciones que se requieren para el proyecto y posteriormente la microlocalización podrá dar como resultado la mejor alternativa de ubicación dentro de la zona determinada (Sapag Chain, Sapag Chain, & Sapag Puelma, 2014).

Dentro del estudio de localización se deben tener en cuenta unos factores de localización, que dependiendo del proyecto tendrán mayor o menor relevancia. Entre ellos se encuentran: la demanda, los medios de transporte y sus costos, la disponibilidad y costo de la mano de obra, la cercanía de las fuentes de abastecimiento, la disponibilidad de recursos para el funcionamiento, entre otros. (Sapag Chain, Sapag Chain, & Sapag Puelma, 2014)

3.1. Métodos de localización

Método cualitativo por puntos: Bajo este método se asignan valores cuantitativos a variables subjetivas, definiendo los factores de localización determinantes para el proyecto, asignándoles valores ponderados de peso relativo según la importancia de cada uno. De esta manera, la opción que acumule el mayor puntaje determinará la mejor opción de localización. (Sapag Chain, Sapag Chain, & Sapag Puelma, 2014).

Método de Brown y Gibson: Este método combina factores cuantitativos y subjetivos, asignándoles valores ponderados de pesos relativos. Este método conlleva cuatro etapas donde inicialmente se le asigna un valor relativo a cada factor objetivo para cada una de las opciones de localización, posterior a lo cual se le asigna a los factores subjetivos, seguido de una combinación de factores objetivos y subjetivos asignándoles una ponderación relativa que permite obtener una medida de preferencia de localización (MPL), y por último se elige la mejor opción considerando aquella con el máximo valor de MPL. (Sapag Chain, Sapag Chain, & Sapag Puelma, 2014).

Método de maximización del valor actual neto: Esta metodología se basa en un criterio económico donde se busca maximizar el valor actual o valor presente neto de los flujos de caja

asociados con cada opción de ubicación del negocio. Es un método que se utiliza cuando las distintas opciones de localización no involucran modificaciones en las variables significativas del proyecto. Se afirma entonces que los factores determinantes de la localización son principalmente desde la perspectiva de costos, entendido que la demanda se mantendrá constante independientemente de la localización del proyecto. (Sapag Chain, Sapag Chain, & Sapag Puelma, 2014).

3.2. Análisis de localización

Considerando que se busca elegir la mejor alternativa para alquiler de bodega, y entendido que dado que el material será recolectado desde instituciones educativas de la ciudad, la macrolocalización del proyecto será en la ciudad de Manizales, buscando mantener un costo fijo de transporte del material recolectado en las instituciones hasta el centro de acopio. Dado lo anterior, se evaluará a través del Método Cualitativo por Puntos la mejor posibilidad dentro de tres opciones de bodegas en alquiler en la ciudad de Manizales. Estas opciones se eligen teniendo en cuenta que son las zonas de la ciudad donde hay mayor disponibilidad de bodegas para alquiler.

Opción A: Bodega en arrendamiento Sector Panamericana con un área de 100 m² con un baño y portería 24 horas.

Canon mensual: \$1.800.000 incluyendo administración.

Opción B: Bodega en arrendamiento Sector Estación Uribe con un área de 180 m² con un baño y una oficina.

Canon mensual: \$1.900.000

Opción C: Bodega en arrendamiento Sector Campo Hermoso con un área de 290 m² con un baño.

Canon mensual: \$2.000.000

3.2.1. Elección de localización

Para aplicar la metodología seleccionada, se definen tres criterios de evaluación, los cuales se califican para dar el resultado de localización:

Costo por m²: Resulta de tomar el valor del canon y dividirlo entre el área total en m² de la bodega. Un menor costo por m² es ideal para el proyecto. Este criterio tendrá una ponderación del 40%

Costo por m² utilizado: Resulta de tomar el valor del canon y dividirlo entre el área total en m² que será aprovechada, siendo un menor costo por m² ventajoso para el proyecto y por ende tendrá una mejor calificación cuanto menor sea el valor. Este criterio tendrá una ponderación del 30%

Subarrendamiento: El costo del alquiler de bodega puede ser en parte absorbido por un tercero si la bodega tiene el tamaño suficiente y tiene un buen costo por m². Si posterior a considerar un 20% más en la capacidad de bodega para futuro crecimiento, sigue quedando espacio para subarrendar, se considera beneficioso para el proyecto, de manera que el costo real total por m² aprovechado sería más bajo. Este criterio tendrá una ponderación del 30%

Considerando que se asumió el valor más alto de transporte entre el centro de acopio y los puntos de recolección durante el desarrollo del análisis del costo de la materia prima, adicional a que las instituciones educativas se encuentran dispersas por toda la ciudad, la decisión de localización se toma basado en el costo de su utilización.

Tabla 17 - Análisis de alternativas de localización

Criterio	Opción A		Opción B		Opción C	
	Puntaje	Ponderación	Puntaje	Ponderación	Puntaje	Ponderación
Costo por m ²	1	0.4	4	1.6	5	2
Costo por m ² utilizado	3	0.9	2	0.6	2	0.6
Subarrendamiento	0	0	4	1.2	5	1.5
Total	4	1.3	10	3.4	12	4.1

Según el análisis, la mejor localización sería la opción C ubicada en Campo Hermoso con 290 m², de los cuales 190 m² podrían ser subarrendados con el fin de mejorar el costo por m². Se asume la posibilidad de subarrendar estos 190 m², gracias a lo cual el valor del canon de arrendamiento final quedaría en \$689.655 por mes.

3.3. Análisis de viabilidad económica del proyecto

3.3.1. Costos fijos asociados al proyecto

Se consideran costos fijos el servicio de agua, el cargo fijo de Invama por alumbrado público, dado que ninguno de estos servicios se utiliza en el proceso productivo, y el costo de alquiler de instalaciones:

Cargo fijo servicio acueducto:	\$9.034,22
Cargo fijo servicio alcantarillado:	\$5.571,58
Valor por m ³ acueducto:	\$1.918,51
Valor m ³ alcantarillado:	\$1.428,11
Total consumo mensual aproximado/mes:	10 m ³ *
Total costo acueducto y alcantarillado/mes:	\$48.072
Cargo fijo INVAMA/mes:	\$41.797
Arrendamiento/mes:	\$689.655
Total costos fijos/mes:	\$794.129,8

*Se toma como referencia el volumen promedio de consumo mensual de agua en un hogar conformado por tres personas, dado que el proceso en sí mismo no requiere consumo de agua, por ende los costos asociados a este rubro son básicamente los generados por el uso de los baños.

3.3.2. Costos variables asociados al proyecto

Se consideran costos variables el consumo de energía, la materia prima, los insumos, el transporte y la mano de obra, la cual se analiza como pagos con liquidación por día laborado con todas las prestaciones requeridas.

Costo kWh:	\$521.03
kW de compactadora:	11.2 W
Costo por hora de energía:	\$5.835,53/h
Costo energía:	\$32,42/kg
Adicional por consumo de otros equipos (Bombillas, banda transportadora, otros)	10%
*Total costo energía:	\$35.7/kg
*Costo por kg de materia prima:	\$74,15/kg
*Costo de mano de obra:	\$53,35/kg
*Costo de insumos:	\$5,3/kg
*Costo transporte a cliente:	\$55/kg
Total costo variable unitario:	\$223,5/kg

3.3.3. Viabilidad Económica del proyecto

Considerando los costos asociados a la operación y tomando en consideración el valor de compra de \$200 por kg, además de un valor de transporte de \$55 por kg a la ciudad de Medellín a la planta de aprovechamiento Proplanet, enviando un total de 16 ton de material en un vehículo tipo Camión doble troque, se evidencia que el proyecto no es viable, puesto que los costos de operación son superiores al valor de la venta mensual, dado que el costo variable unitario es superior al precio de venta, lo cual se evidencia en el Estado de Resultados preliminar proyectado:

Precio de venta:	\$200/kg
Cantidad a facturar:	16.000 kg/mes
Total ventas:	\$3.200.000/mes
Costo de materia prima:	-\$1.186.400/mes
Costo de mano de obra:	-\$921.828/mes
Costo de alquiler:	-\$689.655/mes
Costo de insumos:	-\$90.000/mes
Costo servicios:	-785.224/mes
Costo de transporte a cliente:	-\$880.000/mes
Utilidad antes de impuestos:	-\$1.353.107

Dado que el costo variable unitario es mayor al Precio Unitario de Venta de \$200 por kg, se concluye que el proyecto es **inviable** sin obtener el apoyo por parte de Tetra Pak Colombia para asumir ciertos costos del proceso.

Teniendo en cuenta que Tetra Pak Colombia, gracias a su iniciativa de recuperación de envases, aporta con los fletes de los residuos, se realiza el mismo análisis preliminar, entendido que los costos asociados al transporte del material al cliente final serían asumidos por tal compañía buscando hacer viable el proyecto.

Restando entonces el costo asociado al transporte al cliente final, los costos variables unitarios serían de **\$168,5/kg**, siendo este un valor por kg menor al precio de venta, dado lo anterior el nuevo Estado de Resultados preliminar sería el siguiente:

Precio de venta:	\$200/kg
Cantidad a facturar:	16.000 kg/mes
Total ventas:	\$3.200.000/mes
Costo de materia prima:	-\$1.186.400/mes
Costo de mano de obra:	-\$921.828/mes
Costo de alquiler:	-\$689.655/mes
Costo de insumos:	-\$90.000/mes
Costo servicios:	-785.224/mes
Utilidad antes de impuestos:	-\$473.107/mes

El análisis anterior, evidencia que el volumen producido en las 76 instituciones asociadas al estudio en la ciudad de Manizales no es suficiente, a pesar de que se considera un volumen adicional producido en los hogares, lo cual no permite transformar la cantidad mínima necesaria para garantizar que se cubran los costos mínimos de la operación. Por ello, se buscará entender el volumen mínimo requerido para llegar al Punto de Equilibrio del proyecto, y posteriormente se mencionarán alternativas de consecución del material faltante para llegar a tal volumen requerido para operar.

$$PE = \frac{CF}{Pu - CVu}$$

Dónde,

PE = Punto de equilibrio en volumen

CF = Costos fijos totales

Pu = Precio unitario de venta

CVu = Costos variables unitarios

Según lo anterior, el Punto de Equilibrio sería de 25.210 kg de material vendido, esto representa un 37,8% adicional frente al volumen total de 18.288,92 kg posible a recolectar en

las instituciones educativas de Manizales; un 44% adicional frente al volumen total de 17.500 kg posibles a acopiar dada la restricción de transporte en vehículo tipo Turbo entre las instituciones educativas y el centro de acopio y un 57,5% adicional frente a los 16.000 kg posibles a facturar dada la restricción del transporte en vehículo tipo Sencillo al cliente final.

3.3.4. Alternativas adicionales de recolección de residuos de Tetra Pak®

Dado que el volumen acopiado en las instituciones educativas no es suficiente para llegar al Punto de Equilibrio de la operación, se mencionan alternativas adicionales que permitirían aumentar el volumen acopiado y hacer viable el proyecto:

- a. **Compra de residuo a empresas envasadoras de bebidas en Tetra Pak®:** En la ciudad de Manizales, las empresas Celema S.A e Industria Licorera de Caldas hacen uso del Tetra Pak® como uno de sus tipos de empaque. Dado lo anterior y la disponibilidad del material, se plantea la compra del residuo procedente de retales posteriores al proceso de envasado o material inactivo debido a discontinuación de referencias y producto no conforme del proceso productivo.
- b. **Vinculación de instituciones educativas del municipio de Villa María:** Dado que este estudio solo consideró las instituciones de básica primaria, bachillerato, media académica y educación superior de la ciudad de Manizales, se plantea vincular las instituciones del municipio de Villa María, considerando que no existen peajes para el transporte a este municipio y es lo suficientemente cercano para que los costos de transporte sean muy similares a los costos locales.
- c. **Vinculación de instituciones educativas no consideradas en el estudio:** Dado que este estudio no contempló instituciones como jardines infantiles, instituciones de enseñanza de idiomas, entre otras, se deberá vincular este tipo de instituciones al programa para que sea posible aumentar el volumen a acopiar.
- d. **Extensión de la campaña a zonas residenciales:** Los conjuntos cerrados de la ciudad de Manizales y Villa María son una fuente potencial de residuo de Tetra Pak®, por lo cual se podría considerar hacer extensiva la recolección del material en tales sitios.

3.3.5. Análisis de flujo de efectivo y Tasa Interna de Retorno (TIR)

Asumiendo la posibilidad de implementar las alternativas mencionadas en el punto anterior con los mismos costos asociados para aumentar el volumen acopiado, y entendiendo que la tasa de interés de oportunidad (TIO) es del 8,5% Efectivo Anual para inversión en CDT a 360 días según las tasas de captación publicadas por el Banco de la República, se analiza la viabilidad del proyecto a 10 años, buscando entender a partir de qué volumen sería viable el mismo, buscando que la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto iguale a la TIO y asumiendo impuestos del 30%.

Al realizar el análisis se concluye que el volumen mínimo requerido a procesar y vender para hacer el proyecto atractivo con una TIR del 8,4% es de 28.000 kg vendidos por mes, considerando una inflación anual del 6.5%. Cualquier volumen por encima de este mejorará la TIR del proyecto según el análisis de flujo de efectivo. La Tabla 18 muestra el flujo de efectivo para un volumen de 28.000 kg de material facturado mensualmente, equivalente a 336.000 kg de material facturado por año.

Es de considerar que un volumen de 28.000 kg estaría un 11% por encima del volumen requerido para el Punto de Equilibrio del proyecto, pero implica una capacidad ociosa de aproximadamente 18,9%, por lo cual se debe considerar aumentar el volumen de producción para lograr una venta de mínimo 32.000 kg por mes para llegar al volumen necesario para hacer una venta equivalente a la utilización dos vehículos tipo sencillo completos que permitan optimizar la capacidad de transporte al cliente final. La Tabla 19 muestra el flujo de efectivo para el ideal de volumen de 32.000 kg de material facturado mensualmente, equivalente a 384.000 kg de material facturado por año.

Tabla 18 - Flujo de Efectivo y TI para 336.000 kg de material facturado por año

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	-\$ 15,580,000										
Volumen facturado (kg)		336,000	336,000	336,000	336,000	336,000	336,000	336,000	336,000	336,000	336,000
Precio de venta por kg		\$ 200	\$ 213	\$ 227	\$ 242	\$ 257	\$ 274	\$ 292	\$ 311	\$ 331	\$ 353
Ingresos		\$ 67,200,000	\$ 71,568,000	\$ 76,219,920	\$ 81,174,215	\$ 86,450,539	\$ 92,069,824	\$ 98,054,362	\$ 104,427,896	\$ 111,215,709	\$ 118,444,730
Egresos		\$ 66,145,558	\$ 70,445,019	\$ 75,023,945	\$ 79,900,501	\$ 85,094,034	\$ 90,625,146	\$ 96,515,781	\$ 102,789,307	\$ 109,470,612	\$ 116,586,201
<u>Costos fijos</u>		\$ 9,529,558	\$ 10,148,979	\$ 10,808,662	\$ 11,511,226	\$ 12,259,455	\$ 13,056,320	\$ 13,904,981	\$ 14,808,804	\$ 15,771,377	\$ 16,796,516
Arrendamiento		\$ 8,275,860	\$ 8,813,791	\$ 9,386,687	\$ 9,996,822	\$ 10,646,615	\$ 11,338,645	\$ 12,075,657	\$ 12,860,575	\$ 13,696,512	\$ 14,586,786
Servicios		\$ 1,253,698	\$ 1,335,188	\$ 1,421,975	\$ 1,514,404	\$ 1,612,840	\$ 1,717,674	\$ 1,829,323	\$ 1,948,229	\$ 2,074,864	\$ 2,209,730
<u>Costos Variables</u>		\$ 56,616,000	\$ 60,296,040	\$ 64,215,283	\$ 68,389,276	\$ 72,834,579	\$ 77,568,827	\$ 82,610,800	\$ 87,980,502	\$ 93,699,235	\$ 99,789,685
MP		\$ 24,914,400	\$ 26,533,836	\$ 28,258,535	\$ 30,095,340	\$ 32,051,537	\$ 34,134,887	\$ 36,353,655	\$ 38,716,642	\$ 41,233,224	\$ 43,913,384
MO		\$ 17,925,600	\$ 19,090,764	\$ 20,331,664	\$ 21,653,222	\$ 23,060,681	\$ 24,559,625	\$ 26,156,001	\$ 27,856,141	\$ 29,666,790	\$ 31,595,132
Insumos		\$ 1,780,800	\$ 1,896,552	\$ 2,019,828	\$ 2,151,117	\$ 2,290,939	\$ 2,439,850	\$ 2,598,441	\$ 2,767,339	\$ 2,947,216	\$ 3,138,785
Servicios		\$ 11,995,200	\$ 12,774,888	\$ 13,605,256	\$ 14,489,597	\$ 15,431,421	\$ 16,434,464	\$ 17,502,704	\$ 18,640,379	\$ 19,852,004	\$ 21,142,384
Depreciación		\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000
UAI		-\$ 503,558	\$ 1,122,981	\$ 1,195,975	\$ 1,273,713	\$ 1,356,505	\$ 1,444,677	\$ 1,538,582	\$ 1,638,589	\$ 1,745,098	\$ 1,858,529
Impuestos (30%)		-\$ 151,067	\$ 336,894	\$ 358,792	\$ 382,114	\$ 406,951	\$ 433,403	\$ 461,574	\$ 491,577	\$ 523,529	\$ 557,559
U Neta		-\$ 352,490	\$ 786,087	\$ 837,182	\$ 891,599	\$ 949,553	\$ 1,011,274	\$ 1,077,007	\$ 1,147,013	\$ 1,221,568	\$ 1,300,970
Depreciación		\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000
Ingreso Neto	-\$ 15,580,000	\$ 1,205,510	\$ 2,344,087	\$ 2,395,182	\$ 2,449,599	\$ 2,507,553	\$ 2,569,274	\$ 2,635,007	\$ 2,705,013	\$ 2,779,568	\$ 2,858,970

TIR	8.4%
------------	-------------

Tabla 19 - Flujo de Efectivo y TIR para 384.000 kg de material facturado al año

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	-\$ 15,580,000										
Volumen facturado (kg)		384,000	384,000	384,000	384,000	384,000	384,000	384,000	384,000	384,000	384,000
Precio de venta por kg		\$ 200	\$ 213	\$ 227	\$ 242	\$ 257	\$ 274	\$ 292	\$ 311	\$ 331	\$ 353
Ingresos		\$ 76,800,000	\$ 81,792,000	\$ 87,108,480	\$ 92,770,531	\$ 98,800,616	\$ 105,222,656	\$ 112,062,128	\$ 119,346,167	\$ 127,103,668	\$ 135,365,406
Egresos		\$ 74,233,558	\$ 79,058,739	\$ 84,197,557	\$ 89,670,398	\$ 95,498,974	\$ 101,706,407	\$ 108,317,324	\$ 115,357,950	\$ 122,856,216	\$ 130,841,871
Costos fijos		\$ 9,529,558	\$ 10,148,979	\$ 10,808,662	\$ 11,511,226	\$ 12,259,455	\$ 13,056,320	\$ 13,904,981	\$ 14,808,804	\$ 15,771,377	\$ 16,796,516
Arrendamiento		\$ 8,275,860	\$ 8,813,791	\$ 9,386,687	\$ 9,996,822	\$ 10,646,615	\$ 11,338,645	\$ 12,075,657	\$ 12,860,575	\$ 13,696,512	\$ 14,586,786
Servicios		\$ 1,253,698	\$ 1,335,188	\$ 1,421,975	\$ 1,514,404	\$ 1,612,840	\$ 1,717,674	\$ 1,829,323	\$ 1,948,229	\$ 2,074,864	\$ 2,209,730
Costos Variables		\$ 64,704,000	\$ 68,909,760	\$ 73,388,894	\$ 78,159,173	\$ 83,239,519	\$ 88,650,087	\$ 94,412,343	\$ 100,549,145	\$ 107,084,840	\$ 114,045,355
MP		\$ 28,473,600	\$ 30,324,384	\$ 32,295,469	\$ 34,394,674	\$ 36,630,328	\$ 39,011,300	\$ 41,547,034	\$ 44,247,591	\$ 47,123,685	\$ 50,186,724
MO		\$ 20,486,400	\$ 21,818,016	\$ 23,236,187	\$ 24,746,539	\$ 26,355,064	\$ 28,068,143	\$ 29,892,573	\$ 31,835,590	\$ 33,904,903	\$ 36,108,722
Insumos		\$ 2,035,200	\$ 2,167,488	\$ 2,308,375	\$ 2,458,419	\$ 2,618,216	\$ 2,788,400	\$ 2,969,646	\$ 3,162,673	\$ 3,368,247	\$ 3,587,183
Servicios		\$ 13,708,800	\$ 14,599,872	\$ 15,548,864	\$ 16,559,540	\$ 17,635,910	\$ 18,782,244	\$ 20,003,090	\$ 21,303,291	\$ 22,688,005	\$ 24,162,725
Depreciación		\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000
UAI		\$ 1,008,442	\$ 2,733,261	\$ 2,910,923	\$ 3,100,133	\$ 3,301,642	\$ 3,516,249	\$ 3,744,805	\$ 3,988,217	\$ 4,247,451	\$ 4,523,535
Impuestos (30%)		\$ 302,533	\$ 819,978	\$ 873,277	\$ 930,040	\$ 990,493	\$ 1,054,875	\$ 1,123,441	\$ 1,196,465	\$ 1,274,235	\$ 1,357,061
U Neta		\$ 705,910	\$ 1,913,283	\$ 2,037,646	\$ 2,170,093	\$ 2,311,149	\$ 2,461,374	\$ 2,621,363	\$ 2,791,752	\$ 2,973,216	\$ 3,166,475
Depreciación		\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000	\$ 1,558,000
Ingreso Neto	-\$ 15,580,000	\$ 2,263,910	\$ 3,471,283	\$ 3,595,646	\$ 3,728,093	\$ 3,869,149	\$ 4,019,374	\$ 4,179,363	\$ 4,349,752	\$ 4,531,216	\$ 4,724,475
TIR	18.8%										

Un volumen de producción 32.000 kg equivale a un 92,5% de utilización de la capacidad de un turno de producción. Por ello, se analiza copar un turno completo de producción para lograr 34.560 kg por mes y sus implicaciones en cuanto a niveles de inventario de producto terminado y materia prima. Para ello, se consideran las siguientes restricciones:

- a. Dado que el flujo de materia prima se ve afectado por las temporadas de vacaciones, se analiza cuál es el punto mínimo de entrada de materia prima y producción requeridos para no afectar el volumen de ventas de 32.000 kg por mes, considerando los meses de Julio y Enero como de baja producción debido al bajo ingreso de materia prima derivado de las vacaciones escolares de Junio y Diciembre.
- b. Se debe garantizar que la materia prima sea optimizada en el transporte, por lo cual se deben recibir un total de material en múltiplos de 3.500, siendo esta la capacidad en kg posible a transportar por vehículo tipo Turbo.

La Tabla 20 muestra la proyección de niveles de inventario de producto terminado y materia prima para el primer año, considerando arranque de operaciones en Enero y un nivel de entradas de materia prima del 40% y producción del 48% en el mes de Junio y del 50% de entradas de material prima y de producción al 57% en el mes de Diciembre. Es de aclarar que los niveles de producción se ven afectados por las entradas de materia prima según lo mencionado, siendo el volumen máximo a producir, el volumen total de material con el que se cuenta al iniciar el mes de operación. Con ingresos de material y producción en los volúmenes presentados en la tabla, se garantiza una facturación mensual de 32.000 kg, por ende si la temporada escolar afecta la llegada de materia prima en mayor proporción, el nivel de inventario de producto terminado no lograría compensar el nivel de venta requerido en estos meses.

Tabla 20 - Proyección de inventarios de MP y PT para el primer año de operación

Descripción	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Producción (kg/mes)	34,560	34,560	34,560	34,560	34,560	34,560	16,640	34,560	34,560	34,560	34,560	34,560	19,700
Total MP ingresada	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000	14,000	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000	17,500
Inventario inicial de MP (kg)	35,000	35,440	35,880	36,320	36,760	37,200	16,640	35,000	35,440	35,880	36,320	36,760	19,700
Inventario final de MP (kg)	440	880	1,320	1,760	2,200	2,640	-	440	880	1,320	1,760	2,200	-
Inventario de PT antes de facturar (kg)	34,560	37,120	39,680	42,240	44,800	47,360	32,000	34,560	37,120	39,680	42,240	44,800	32,500
Facturación	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000	32,000
Inventario final de PT (kg)	2,560	5,120	7,680	10,240	12,800	15,360	-	2,560	5,120	7,680	10,240	12,800	500

Conclusiones

El diseño de una red de logística inversa de envases de Tetra Pak® en la ciudad de Manizales implica importantes retos a nivel de compromiso de la ciudadanía para lograr la recolección de los volúmenes requeridos para poder implementar un centro de acopio donde se recolecte el material para ser preparado para su posterior aprovechamiento en las diferentes plantas del país.

Gracias a este trabajo se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- a. En Latinoamérica, Brasil es el país en el que en mayor medida se han adoptado campañas y estrategias para el aprovechamiento de los residuos de Tetra Pak® con importantes niveles de recuperación de este residuo. En Colombia por su parte, el nivel de aprovechamiento de los residuos de tetra Pak® es mínimo, por lo cual existe una oportunidad latente de generar valor y aportar al medio ambiente a través del aprovechamiento del mismo.
- b. En Colombia, si bien existen plantas de aprovechamiento de los residuos de Tetra Pak®, éstas se concentran en las principales ciudades del país tales como Bogotá, Medellín y Cali, por lo cual en ciudades como Manizales aún no se han implementado estrategias para el aprovechamiento de estos residuos. Esto genera la oportunidad de hacer de Manizales una ciudad que apalanque, no solo la disminución del impacto ambiental, sino el mismo desarrollo económico a través de la creación de empresa.
- c. La estrategia de recolección de residuos de Tetra Pak® en alianza con fundaciones, tiene varias ventajas, dentro de las que se pueden nombrar la posibilidad apalancar la generación de conciencia en la ciudadanía gracias a que las personas no solo aportan ambientalmente gracias a la correcta disposición de los residuos de Tetra Pak®, sino también socialmente gracias a que tales residuos contribuyen al sostenimiento económico de las fundaciones aliadas. Este aporte doble podría ser una forma de lograr la recolección de mayores volúmenes de residuo y una participación más activa de la ciudadanía. A ello se puede sumar Tetra Pak Colombia con los insumos y materiales requeridos para que las fundaciones hagan una apropiada campaña en las instituciones educativas gracias a la iniciativa “Tetra Pak Sí recicla”.
- d. La estrategia de recolección de residuos de Tetra Pak® elegida, implica la aceptación por parte de las fundaciones aliadas del costo planteado de aporte de \$50 por kg de material recolectado, ya que de lo contrario el proyecto sería inviable, al igual que se debe garantizar el valor por kg de transporte entre las instituciones educativas y el centro de acopio, lo cual se puede apalancar en la generación de estrategias con empresas de transporte, tal como se ha evidenciado en casos reales en el país.

- e. Para lograr hacer viable el proyecto, se requiere el aporte de Tetra Pak Colombia con los fletes a las plantas destino del material previamente alistado en el centro de acopio, ya que de lo contrario, los costos de venta unitarios serían superiores al precio de venta unitario, haciendo inviable el proyecto.
- f. Al analizar el volumen requerido para llegar al punto de equilibrio en volumen facturado a las plantas destino, se evidencia que el volumen generado en las 76 instituciones educativas de educación básica primaria, bachillerato, media académica y superior consideradas en este trabajo, según el estudio estadístico realizado para obtener los volúmenes de producción de residuo de Tetra Pak®, no permiten recolectar el volumen mensual mínimo requerido para poder poner en operación un centro de acopio, ni siquiera contemplando el volumen generado en los hogares de los estudiantes.
- g. Al realizar el análisis de volumen ideal de procesamiento y facturación de material para hacer viable el proyecto con una Tasa Interna de Retorno mayor a la Tasa de Interés de Oportunidad, pero a su vez logrando una utilización plena de un turno de producción en un mes, y considerando las restricciones de volumen de transporte tanto de materia prima como de producto terminado, se evidencia que se debe aumentar el volumen recolectado en la ciudad en más de un 90%, de allí la importancia de ampliar la estrategia de recolección considerando las alternativas de compra a las empresas envasadoras de la ciudad, la vinculación de instituciones educativas no consideradas en el estudio tales como jardines infantiles e instituciones del municipio aledaño de Villa María y la expansión de la campaña a las zonas residenciales.
- h. Si se logra el objetivo de producción a un turno completo y unos niveles de recolección que permitan tener un inventario de seguridad tanto de materia prima, como de producto terminado, es posible sopesar el efecto que podría tener la temporada de vacaciones en los niveles de recolección del material.

Recomendaciones

Dentro de las posibilidades para implementar una red de logística inversa de envases de Tetra Pak®, existen posibilidades adicionales por explorar que no están en el alcance de este trabajo, pero que es de alta importancia considerarlas para hacer que la red logística tenga éxito:

- a. Evaluar la viabilidad **real** de acopiar los volúmenes de material adicionales requeridos para que el proyecto sea factible según lo analizado en este trabajo con un estudio más profundo de generación de residuos en la ciudad de Manizales y el municipio aledaño de Villa María como mínimo. Esto, dado que la disponibilidad de información para el trabajo realizado fue limitada, dejando por fuera instituciones como los jardines infantiles (dada la imposibilidad de aplicar la encuesta a niños de tan corta edad) y adicionalmente aquellas instituciones de Educación Superior que no contribuyeron con la información requerida de la población para la realización del análisis estadístico.
- b. Dado que el proyecto analizado solo contempla la posibilidad de copar un turno de producción de tres turnos posibles, se debe estudiar y analizar la viabilidad de que el centro de acopio recolecte material de otros municipios de Caldas, Risaralda y Quindío que permitan, no solo una mayor productividad del centro de acopio, sino también un mayor impacto en los niveles de aprovechamiento de residuos de Tetra Pak®.
- c. Explorar la viabilidad de convertir el centro de acopio en un centro de aprovechamiento de los residuos de Tetra Pak®, donde se realice la producción de materiales derivados tales como aglomerados y tejas para el sector de la construcción, de manera que se optimicen los costos y se mejore significativamente la rentabilidad.
- d. Se debe explorar cuáles pueden ser los beneficios tributarios que otorga el gobierno nacional gracias a la fomentación del aprovechamiento de los residuos y analizar cómo ello aporta al mejoramiento de los costos de venta de los productos.
- e. Evaluar la posibilidad de incurrir en el acopio y aprovechamiento de otros residuos actualmente desaprovechados, tales como botellas PET, latas, etc., de manera que se potencialice el centro de acopio y se logre un máximo aprovechamiento del mismo.

Anexos

Anexo 1. Diseño del cuestionario inicial

ENCUESTA SOBRE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE TETRA PAK

El Tetra Pak es el material del cual están fabricadas las cajitas donde son envasados productos que comúnmente son consumidos tales como jugos, leche saborizada, avena y otros de uso en el hogar como leche y crema de leche.

Estos envases son 100% reciclables, por ello, posterior al consumo, los envases son recolectados para la fabricación de tejas para techos de viviendas y cartón para elaboración de cajas

El objetivo de esta encuesta es conocer los hábitos de los estudiantes de diferentes instituciones en cuanto a la disposición final de este material, de forma que esta información contribuya a la construcción de una red logística para la recuperación de estos envases. Por favor, para cada pregunta elija solamente una respuesta o diligencie la información solicitada

1. Indique su estrato socioeconómico

2. En su casa consumen productos envasados en Tetra Pak?

Sí

No

Si la respuesta a la pregunta número 2 fue Sí, siga a la pregunta 3, de lo contrario continúe con la pregunta 6

3. Cuántas unidades de productos envasados en Tetra Pak aproximadamente se consumen en su hogar por semana?

4. Usualmente qué tamaño de productos consumen en su hogar?

- Productos en Tetra Pak tamaño grande o familiar
- Productos en Tetra Pak tamaño pequeño o personal
- Productos en Tetra Pak tanto en tamaño grande como pequeño

5. Cuando consumen productos envasados en Tetra Pak en su hogar, cómo es la forma más utilizada para desecharlo?

- Mezclado con todos los demás residuos
- Con residuos similares como el cartón, o el plástico
- En un contenedor exclusivo para este material

6. Cuando se encuentra en su lugar de estudio, en sus algos u onces suele consumir productos envasados en Tetra Pak?

Sí

No

Si la respuesta a la pregunta número 6 fue Sí, siga a la pregunta 7, de lo contrario continúe con la pregunta 10

7. Cuántas unidades de productos envasados en Tetra Pak consume usted aproximadamente a la semana en su lugar de estudio?

8. Cuando consume el producto, suele consumirlo completamente?

- Sí, siempre consumo la totalidad del contenido
 No, a veces deajo residuo del líquido en el envase

9. En su lugar de estudio, cuál es la forma más utilizada para disponer los residuos de Tetra Pak?

- Mezclado con todos los demás residuos
 Con residuos similares como el cartón, o el plástico
 En un contenedor exclusivo para Tetra Pak

10. Estaría usted dispuesto a contribuir a la óptima disposición de los residuos de Tetra Pak en su lugar de estudio, disponiendo los envases en un contenedor exclusivo (si éste fuera instalado), sin dejar residuo alguno en el interior, sin basura dentro de el, sin romperlo y siempre aplanando el envase para un mejor aprovechamiento del espacio donde sea almacenado?

Si

No

Muchas gracias !!

Anexo 2. Listado de instituciones educativas de Manizales de educación básica primaria, bachillerato, media académica y superior con su población estudiantil

Institución	Sector	Total estudiantes
IE Adolfo Hoyos Ocampo	Oficial	240
IE Andres Bello	Oficial	432
IE Aranjuez	Oficial	308
IE Atanasio Girardot	Oficial	396
IE Bosques del Norte	Oficial	1,785
IE Chipre	Oficial	1,070
IE Colegio de Cristo	Oficial	950
IE Colegio Perpetuo Socorro	Oficial	344
IE Divina Providencia	Oficial	682
IE Escuela Nacional Auxiliar de Enfermería	Oficial	1,970
IE Estambul	Oficial	604
IE Eugenio Pacelli	Oficial	693
IE Fe y Alegria La Paz	Oficial	2,075
IE Gran Colombia	Oficial	535
IE Inem Baldomero Sanin Cano	Oficial	1,270
IE Instituto Latinoamericano	Oficial	766
IE Instituto Manizales	Oficial	1,070
IE Instituto Tecnico Marco Fidel Suarez	Oficial	451
IE Instituto Universitario de Caldas	Oficial	2,437
IE La Asunción	Oficial	972
IE La Linda	Oficial	522
IE La Sultana	Oficial	444
IE León de Greiff	Oficial	566
IE Leonardo Da Vinci	Oficial	1,100
IE Liceo Isabel La Católica	Oficial	813
IE Liceo Mixto Sinai	Oficial	1,141
IE Malabar	Oficial	981
IE Malteria	Oficial	92
IE Mariscal Sucre	Oficial	764
IE Nuestra Señora de Fatima	Oficial	442
IE Normal Superior de Caldas	Oficial	2,242
IE Normal Superior de Manizales	Oficial	2,009
IE Pablo VI	Oficial	592
IE San Agustin	Oficial	338
IE San Jorge	Oficial	1,247
IE San Juan Bautista La Salle	Oficial	819
IE San Pio X	Oficial	839
IE Santo Domingo Savio	Oficial	387
IE Siete de Agosto	Oficial	715

Institución	Sector	Total estudiantes
IE Villa del Pilar	Oficial	494
IT Francisco José de Caldas	Oficial	1,999
Aspaen Gimnasio los Cerezos	Privado	178
Colegio Boston	Privado	151
Colegio Cultural Andino	Privado	74
Colegio de Nuestra Sra del Rosario	Privado	665
Colegio Eugenia Ravasco	Privado	580
Colegio Filipense Nuestra Sra de Lourdes	Privado	245
Colegio Franciscano Agustin Gemelli	Privado	321
Colegio los Libertadores	Privado	139
Colegio Mayor de Nuestra Señora	Privado	602
Colegio Moderno Celestin Freinet	Privado	24
Colegio Mundos Posibles	Privado	38
Colegio Nuestra Sra de los Angeles	Privado	276
Colegio Nuevo Gimnasio	Privado	140
Colegio San Luis Gonzaga	Privado	861
Colegio San Miguel	Privado	154
Colegio Santa Ines	Privado	284
Colegio Seminario Redentorista San Clemente	Privado	485
Gimnasio Campestre la Consolata	Privado	577
Centro Educativo Ased	Privado	70
Colegio Americano	Privado	37
Institucion Educacion Continua Confamiliares Sede A	Privado	825
Institucion Educacion Continua Confamiliares Sede B	Privado	201
Institucion Nueva Colombia	Privado	167
Institucion Para la Ciencia	Privado	106
Institucion Tecnico San Rafael	Privado	429
Liceo Arquidiocesano de Nuestra Señora	Privado	706
Liceo Arquidiocesano de Nuestra Señora Femenino	Privado	686
Liceo Bosques del Saber	Privado	91
Seminario Menor de Nuestra Señora del Rosario	Privado	891
Universidad de Caldas	Oficial	9,408
Universidades Nacional de Colombia Sede Manizales	Oficial	5,647
Universidad Católica de Manizales	Privado	3,029
Universidad Antonio Nariño	Privado	150
Universidad Autónoma de Manizales	Privado	3,500
Unitécnica	Privado	1,035
Total	76	47,599

Anexo 3. Instituciones educativas elegidas para aplicación de la encuesta

Institución	Categoría	Total
IE Adolfo Hoyos Ocampo	Oficial	240
IE Chipre	Oficial	1,070
IE Colegio de Cristo	Oficial	950
IE Colegio Perpetuo Socorro	Oficial	344
IE Leonardo Da Vinci	Oficial	1,100
IE Normal Superior de Caldas	Oficial	2,242
IE Normal Superior de Manizales	Oficial	2,009
Colegio Filipense Nuestra Sra de Lourdes	Privado	245
Colegio Nuestra Sra de los Angeles	Privado	276
Colegio San Miguel	Privado	154
Universidad de Caldas	Oficial	9,408
Universidad Nacional de Colombia	Oficial	5,647
Unitécnica	Privado	1,035
Total colegios visitados	13	24,720
Total Manizales	76	47,599
Porcentaje de cubrimiento	17%	52%

Anexo 4. Resultado de la prueba piloto

- a. La pregunta sobre el estrato socioeconómico no aporta al logro del objetivo de la encuesta, por lo cual es eliminada.
- b. Dado que la prioridad es conocer el comportamiento de consumo de los encuestados en el lugar de estudios, se invierte el orden de las preguntas en la encuesta final, de manera que se respondan primero las relacionadas al consumo en el lugar de estudios.
- c. Se enfatiza en la opción 3 de la pregunta referente a la forma de disposición del residuo en el lugar de estudio, aclarando que esta respuesta se deberá usar en caso de que en la institución cuenten con un contenedor donde únicamente se recolecten envases de Tetra Pak®.
- d. Se eliminan las instrucciones sobre la contestación o no de preguntas ancladas a una pregunta anterior, ya que la opinión del total de los encuestados sobre la forma de disposición de este tipo de residuos y el hábito de consumo aporta dentro de las conclusiones finales.
- e. Se aclara en la pregunta sobre unidades consumidas en el hogar, que se deben descartar aquellas unidades que sean compradas con el fin de consumir en el lugar de estudios para evitar duplicar cantidades en las respuestas.
- f. La pregunta sobre la forma de disposición en el hogar no aporta dentro del objetivo de la encuesta, por lo cual es eliminada.
- g. La pregunta sobre el tamaño del producto consumido no aporta al logro del objetivo de la encuesta, dado que no se podrá conocer la proporción exacta de consumo, puesto que la población a encuestar al ser estudiantes que podrían ser incluso de grados 5° y 6°, no tendrían conocimiento sobre porcentajes. Por ello se elimina y para efectos del cálculo de volumen se asume que el total de unidades producidas como residuo serán de tamaño personal.
- h. Con el fin de que el cuestionario permita evidenciar la posibilidad de anclar la producción de residuos de Tetra Pak® en el hogar a la disposición de los mismos en el lugar de estudio, se adiciona una última pregunta buscando conocer si los estudiantes estarían dispuestos a recolectar los envases que se desechan en sus hogares y depositarlos en un contenedor ubicado en la institución educativa si éste fuera ubicado.

Anexo 5. Cuestionario final

ENCUESTA SOBRE DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE TETRA PAK

El Tetra Pak es el material del cual están fabricadas las cajitas donde son envasados productos que comúnmente son consumidos tales como jugos, leche saborizada, avena y otros de uso en el hogar como leche y crema de leche.

Estos envases son 100% reciclables, por ello, posterior al consumo, los envases son recolectados para la fabricación de tejas para techos de viviendas y cartón para elaboración de cajas

El objetivo de esta encuesta es conocer los hábitos de los estudiantes de diferentes instituciones en cuanto a la disposición final de este material, de forma que esta información contribuya a la construcción de una red logística para la recuperación de estos envases. Por favor, para cada pregunta elija solamente una respuesta o diligencie la información solicitada

1. Consume bebidas envasadas en Tetra Pak en su lugar de estudios a la hora de sus algos u onces, tales como jugos en cajita, avena o leche saborizada?

Si No

2. Si su respuesta a la pregunta anterior fue Sí, indique en la casilla la cantidad de este tipo de bebidas que consume por semana en su lugar de estudios a la hora de sus algos u onces. Si su respuesta a la pregunta anterior fue No, continúe a la siguiente pregunta

3. Cuando consume bebidas envasadas en Tetra Pak, suele consumir la totalidad de la bebida?

Si No

4. A la hora de desechar estos envases de Tetra Pak en su lugar de estudios, cuál es la forma más usual en la que lo hace?

Mezclado con todo tipo de residuos

En el contenedor de residuos similares al Tetra Pak como el de papel y cartón o el de plástico

En un contenedor donde UNICAMENTE se recolectan cajitas de Tetra Pak que hay en mi lugar de estudios (en caso de que exista)

5. Si en su lugar de estudios se ubicara un contenedor UNICAMENTE para la recolección de envases de Tetra Pak (en caso de que aún no exista), estaría usted dispuesto a contribuir depositando allí los envases previamente aplanados y sin residuos de la bebida en el interior?

Si No

6. En su casa consumen productos envasados en Tetra Pak tales como leche, jugo o crema de leche?

Si No

7. Si su respuesta a la pregunta anterior fue Sí, indique en la casilla la cantidad de bebidas envasadas en Tetra Pak que consumen por semana en su casa, sin considerar las que se compran para llevar a su lugar de estudios. Si su respuesta a la pregunta anterior fue No, continúe a la siguiente pregunta

8. Estaría usted dispuesto a recolectar los envases de Tetra Pak vacíos que quedan en su casa, aplanando los envases y sin residuo de la bebida en el interior y llevarlos a su lugar de estudios para disponerlos en un contenedor de recolección UNICAMENTE de envases de Tetra Pak en caso de que allí se ubicara?

Si No

¡ Muchas gracias !

Anexo 6. Determinación de la muestra

Fórmula para determinación de la muestra en cada institución educativa por la metodología del muestreo aleatorio simple:

$$n = \frac{N \cdot z^2 \cdot p \cdot q}{(N - 1) \cdot E^2 + z^2 \cdot p \cdot q}$$

Dónde:

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población

z= Nivel de confiabilidad

p= Variabilidad positiva

q= Variabilidad negativa

E= Margen de error

La fórmula para determinar la muestra n, se aplica a la prueba piloto de cada institución educativa considerando las cuatro preguntas dicotómicas del cuestionario (2,6,8 y 10), donde variará el valor de p y q según la proporción de respuestas positivas y negativas en cada pregunta dicotómica. Siendo así, el valor de n se determina tomando el mayor resultado luego de aplicar la fórmula con cada pregunta dicotómica.

Resultado prueba piloto IE Chipre

Total encuestados: 19

Pregunta 2	
N	1,070
z	95%
Resp. Afirmativas	17
p	94%
q = (1-p)	6%
E	5%
Resultado n	18.6

Pregunta 6	
N	1,070
z	95%
Resp. Afirmativas	13
p	72%
q = (1-p)	28%
E	5%
Resultado n	67.9

Pregunta 8	
N	1,070
z	95%
Resp. Afirmativas	11
p	61%
q = (1-p)	39%
E	5%
Resultado n	79.5

Pregunta 10	
N	1,070
z	95%
Resp. Afirmativas	18
p	100%
q = (1-p)	0%
E	5%
Resultado n	0.0

Resultado prueba piloto Colegio Perpetuo Socorro

Total encuestados: 18

Pregunta 2	
N	344
z	95%
Resp. Afirmativas	15
p	83%
q = (1-p)	17%
E	5%
Resultado n	43.9

Pregunta 6	
N	344
z	95%
Resp. Afirmativas	9
p	50%
q = (1-p)	50%
E	5%
Resultado n	71.7

Pregunta 8	
N	344
z	95%
Resp. Afirmativas	8
p	44%
q = (1-p)	56%
E	5%
Resultado n	71.0

Pregunta 10	
N	344
z	95%
Resp. Afirmativas	18
p	100%
q = (1-p)	0%
E	5%
Resultado n	0.0

Resultado prueba piloto Escuela Normal Superior de Caldas

Total encuestados: 18

Pregunta 2	
N	2,242
z	95%
Resp. Afirmativas	11
p	61%
q = (1-p)	39%
E	5%
Resultado n	82.7

Pregunta 6	
N	2,242
z	95%
Resp. Afirmativas	7
p	39%
q = (1-p)	61%
E	5%
Resultado n	82.7

Pregunta 8	
N	2,242
z	95%
Resp. Afirmativas	6
p	33%
q = (1-p)	67%
E	5%
Resultado n	77.5

Pregunta 10	
N	2,242
z	95%
Resp. Afirmativas	15
p	83%
q = (1-p)	17%
E	5%
Resultado n	49.1

Resultado prueba piloto Colegio de Cristo

Total encuestados: 19

Pregunta 2	
N	950
z	95%
Resp. Afirmativas	12
p	63%
q = (1-p)	37%
E	5%
Resultado n	77.3

Pregunta 6	
N	950
z	95%
Resp. Afirmativas	7
p	37%
q = (1-p)	63%
E	5%
Resultado n	77.3

Pregunta 8	
N	950
z	95%
Resp. Afirmativas	6
p	5%
q = (1-p)	95%
E	5%
Resultado n	17.7

Pregunta 10	
N	950
z	95%
Resp. Afirmativas	18
p	95%
q = (1-p)	5%
E	5%
Resultado n	17.7

Resultado prueba piloto Escuela Normal Superior de Manizales

Total encuestados: 19

Pregunta 2	
N	2,009
z	95%
Resp. Afirmativas	17
p	89%
q = (1-p)	11%
E	5%
Resultado n	33.5

Pregunta 6	
N	2,009
z	95%
Resp. Afirmativas	9
p	47%
q = (1-p)	53%
E	5%
Resultado n	86.2

Pregunta 8	
N	2,009
z	95%
Resp. Afirmativas	4
p	21%
q = (1-p)	79%
E	5%
Resultado n	58.3

Pregunta 10	
N	2,009
z	95%
Resp. Afirmativas	15
p	79%
q = (1-p)	21%
E	5%
Resultado n	58.3

Resultado prueba piloto Colegio Nuestra Señora de los Ángeles

Total encuestados: 19

Pregunta 2	
N	276
z	95%
Resp. Afirmativas	12
p	63%
q = (1-p)	37%
E	5%
Resultado n	64.6

Pregunta 6	
N	276
z	95%
Resp. Afirmativas	16
p	84%
q = (1-p)	16%
E	5%
Resultado n	41.0

Pregunta 8	
N	276
z	95%
Resp. Afirmativas	15
p	79%
q = (1-p)	21%
E	5%
Resultado n	49.4

Pregunta 10	
N	276
z	95%
Resp. Afirmativas	19
p	100%
q = (1-p)	0%
E	5%
Resultado n	0.0

Resultado prueba piloto Unitécnica

Total encuestados: 18

Pregunta 2	
N	1,035
z	95%
Resp. Afirmativas	10
p	56%
q = (1-p)	44%
E	5%
Resultado n	82.1

Pregunta 6	
N	1,035
z	95%
Resp. Afirmativas	17
p	94%
q = (1-p)	6%
E	5%
Resultado n	18.6

Pregunta 8	
N	1,035
z	95%
Resp. Afirmativas	10
p	56%
q = (1-p)	44%
E	5%
Resultado n	82.1

Pregunta 10	
N	1,035
z	95%
Resp. Afirmativas	18
p	100%
q = (1-p)	0%
E	5%
Resultado n	0.0

Resultado prueba piloto Colegio San Miguel

Total encuestados: 18

Pregunta 2	
N	154
z	95%
Resp. Afirmativas	14
p	78%
q = (1-p)	22%
E	5%
Resultado n	44.6

Pregunta 6	
N	154
z	95%
Resp. Afirmativas	15
p	83%
q = (1-p)	17%
E	5%
Resultado n	38.0

Pregunta 8	
N	154
z	95%
Resp. Afirmativas	13
p	72%
q = (1-p)	28%
E	5%
Resultado n	49.5

Pregunta 10	
N	154
z	95%
Resp. Afirmativas	18
p	100%
q = (1-p)	0%
E	5%
Resultado n	0.0

Resultado prueba piloto IE Adolfo Hoyos

Total encuestados: 18

Pregunta 2	
N	240
z	95%
Resp. Afirmativas	11
p	61%
q = (1-p)	39%
E	5%
Resultado n	63.4

Pregunta 6	
N	240
z	95%
Resp. Afirmativas	13
p	72%
q = (1-p)	28%
E	5%
Resultado n	55.8

Pregunta 8	
N	240
z	95%
Resp. Afirmativas	11
p	61%
q = (1-p)	39%
E	5%
Resultado n	63.4

Pregunta 10	
N	240
z	95%
Resp. Afirmativas	15
p	83%
q = (1-p)	17%
E	5%
Resultado n	41.6

Resultado prueba piloto Colegio Filipense

Total encuestados: 20

Pregunta 2	
N	245
z	95%
Resp. Afirmativas	17
p	85%
q = (1-p)	15%
E	5%
Resultado n	38.9

Pregunta 6	
N	245
z	95%
Resp. Afirmativas	14
p	70%
q = (1-p)	30%
E	5%
Resultado n	58.1

Pregunta 8	
N	245
z	95%
Resp. Afirmativas	13
p	65%
q = (1-p)	35%
E	5%
Resultado n	61.7

Pregunta 10	
N	245
z	95%
Resp. Afirmativas	20
p	100%
q = (1-p)	0%
E	5%
Resultado n	0.0

Resultado prueba piloto IE Leonardo Da Vinci

Total encuestados: 19

Pregunta 2	
N	1,100
z	95%
Resp. Afirmativas	13
p	68%
q = (1-p)	32%
E	5%
Resultado n	72.9

Pregunta 6	
N	1,100
z	95%
Resp. Afirmativas	10
p	53%
q = (1-p)	47%
E	5%
Resultado n	83.3

Pregunta 8	
N	1,100
z	95%
Resp. Afirmativas	11
p	58%
q = (1-p)	42%
E	5%
Resultado n	81.6

Pregunta 10	
N	1,100
z	95%
Resp. Afirmativas	14
p	74%
q = (1-p)	26%
E	5%
Resultado n	65.9

Resultado prueba piloto Universidad de Caldas

Total encuestados: 19

Pregunta 2	
N	9,408
z	95%
Resp. Afirmativas	-
p	58%
q = (1-p)	42%
E	5%
Resultado n	87.2

Pregunta 6	
N	9,408
z	95%
Resp. Afirmativas	-
p	84%
q = (1-p)	16%
E	5%
Resultado n	47.8

Pregunta 8	
N	9,408
z	95%
Resp. Afirmativas	14
p	0.74
q = (1-p)	26%
E	5%
Resultado n	69.5

Pregunta 10	
N	9,408
z	95%
Resp. Afirmativas	17
p	0.89
q = (1-p)	11%
E	5%
Resultado n	33.9

Resultado prueba piloto Universidad Nacional

Total encuestados: 19

Dado que esta es la última institución educativa donde se realiza la prueba piloto, se realiza con el nuevo cuestionario, de manera que se compruebe que las preguntas son fácilmente comprendidas y no haya dudas respecto a la redacción o las opciones de respuesta.

Según el cuestionario rediseñado, las preguntas dicotómicas son la 1, 3, 5, 6 y 8. Con estas preguntas se realiza el análisis de la muestra.

Pregunta 1		Pregunta 3		Pregunta 5	
N	5,647	N	5,647	N	5,647
z	95%	z	95%	z	95%
Resp. Afirmativas	5,647	Resp. Afirmativas	17	Resp. Afirmativas	15
p	63%	p	89%	p	79%
q = (1-p)	37%	q = (1-p)	11%	q = (1-p)	21%
E	5%	E	5%	E	5%
Resultado n	82.8	Resultado n	33.8	Resultado n	59.4

Pregunta 6		Pregunta 8	
N	5,647	N	5,647
z	95%	z	95%
Resp. Afirmativas	19	Resp. Afirmativas	19
p	100%	p	100%
q = (1-p)	0%	q = (1-p)	0%
E	5%	E	5%
Resultado n	0.0	Resultado n	0.0

Resumen de instituciones educativas y su tamaño de muestra para la aplicación de la encuesta:

Institución Educativa	Muestra
IE Adolfo Hoyos	71
IE Chipre	84
Escuela Normal Superior de Caldas	87
Escuela Normal Superior de Manizales	90
Unitécnica	88
IE Leonardo Da Vinci	84
Colegio Perpetuo Socorro	74
Colegio Filipense	67
Colegio Nuestra Señora de los Ángeles	65
Colegio San Miguel	50
Universidad de Caldas	92
Universidad Nacional	86
Colegio de Cristo	80

Anexo 7. Resultados de encuesta por institución educativa

Resumen de resultados	IE Adolfo Hoyos	IE Chipre	ENSC	ENSM	Unitécnico	Leonardo Da Vinci	Perpetuo Socorro	Filipense	Colángeles	San Miguel	Colcristo	U Caldas	UNAL	Promedio
Porcentaje de encuestados que consumen bebidas envasadas en Tetra Pak en el lugar de estudio	41%	63%	66%	67%	63%	30%	82%	76%	74%	68%	54%	63%	65%	62%
Cantidad promedio de bebidas envasadas en Tetra Pak consumidas por semana por los encuestados que reportan consumo	2.97	4.09	3.61	4.77	3.89	3.88	4.69	4.75	4.81	3.56	3.21	3.83	4.05	4.01
Cantidad promedio de bebidas envasadas en Tetra Pak consumidas por semana por el total de los encuestados	1.21	2.58	2.37	3.18	2.43	1.15	3.86	3.61	3.55	2.42	1.73	2.41	2.64	2.50
Porcentaje de encuestados que consumen la totalidad del contenido de las bebidas envasadas en Tetra Pak	93%	87%	89%	68%	82%	92%	89%	92%	92%	94%	98%	91%	96%	89%
Porcentaje de encuestados que disponen los residuos de Tetra Pak mezclados con todos los residuos	72%	58%	79%	55%	64%	76%	90%	65%	58%	88%	72%	33%	36%	65%
Porcentaje de encuestados que disponen los residuos de Tetra Pak con residuos similares	3%	32%	19%	40%	36%	20%	5%	35%	35%	12%	23%	62%	61%	30%
Porcentaje de encuestados que disponen los residuos de Tetra Pak en un contenedor exclusivo	24%	9%	2%	5%	0%	4%	5%	0%	6%	0%	5%	5%	4%	5%
Porcentaje de encuestados dispuestos a aportar a la óptima disposición de los residuos de Tetra Pak	86%	94%	98%	98%	95%	88%	95%	98%	92%	97%	98%	95%	95%	95%
Porcentaje de encuestados que reportan consumo de bebidas envasadas en Tetra Pak en el hogar	72%	79%	82%	52%	70%	75%	93%	85%	75%	82%	79%	61%	71%	75%
Cantidad promedio de bebidas envasadas en Tetra Pak que se consumen por hogar por semana por los encuestados que reportan consumo	4.16	4.53	5.89	6.51	5.92	5.11	5.35	5.56	5.84	5.00	4.38	6.80	5.33	5.41
Cantidad promedio de bebidas envasadas en Tetra Pak consumidas por semana en el hogar por el total de los encuestados	2.99	3.56	4.80	3.40	4.17	3.83	4.99	4.73	4.40	4.10	3.45	4.14	3.78	4.06
Porcentaje de encuestados que estarían dispuestos a recolectar envases de Tetra Pak en el hogar y disponerlos en el lugar de estudios	78%	88%	92%	89%	84%	65%	90%	96%	88%	76%	87%	100%	93%	87%

Bibliografía

- Alcaldía de Bogotá.* (26 de Julio de 2014). Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=56035#120>
- Alcaldía de Bogotá.* (26 de Julio de 2014). Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=9998#0>
- Alcaldía de Bogotá.* (1 de Agosto de 2014). Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21059>
- Answers.* (12 de Marzo de 2014). Obtenido de www.answers.com/topic/tetra-pak-international-s-a
- Brion, J. R. (2007). *Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos.*
- CEMPRE Compromiso Empresarial para Reciclagem.* (20 de Julio de 2014). Obtenido de http://www.cempre.org.br/download/CEMPRE_review_2013.pdf
- CEMPRE Compromiso Empresarial para Reciclagem.* (20 de Julio de 2014). Obtenido de http://www.cempre.org.br/cempre_institucional.php
- Contreras Castañeda, E., Tordecilla Madera, R., & Silva Rodríguez, J. (2013). Revisión de Estudios de Caso de Carácter Cualitativo y Exploratorio en Logística Inversa. *Revista EIA.*
- Council of Supply Chain Management Professionals. (Abril de 2016). *Supply Chain Management Terms and Glossary.* Obtenido de https://cscmp.org/sites/default/files/user_uploads/resources/downloads/glossary-2013.pdf?utm_source=cscmpsite&utm_medium=clicklinks&utm_content=glossary&utm_campaign=GlossaryPDF
- Coyle, J. J., Langley Jr., C. J., Novack, R. A., & Gibson, B. J. (2013). *Administración de la Cadena de Suministro.* Cengage Learning.
- Dale, S., & Tibben-Lembke, R. (1998). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices.* Reverse Logistics Executive Council.
- Del Pozo, L. G., & González, R. M. (2009). *Gestión de Residuos Sólidos: Un tema de Vital Importancia para la Gestión Ambiental Empresarial.* Editorial Universitaria.
- (2009). *Environmental and Social Report Tetra Pak.*

- Euroformación Consultores, S. (2012). *Recogida y Transporte de Residuos Urbanos o Municipales*. IC Editorial.
- (2013). *Exceeding Customer Expectations, Tetra Laval 2012/2013*.
- Flores López, J. L. (2009). Implementación del Sistema de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos en el Distrito de Las Lomas: Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos.
- (2005). *Formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipio de Medellín*.
- García, A. (2006). Recomendaciones Táctico-operativas para Implementar un Programa de Logística Inversa. Estudio de Caso en la Industria del Reciclaje de Plásticos. *EUMED.MX*.
- Inza, A. U. (2006). *Manual Básico de Logística Integral*. Ediciones Díaz de Santos.
- Lino, F., & Ismail, K. (2012). Analysis of the Potential of Municipal Solid Waste in Brazil. *Environmental Development*.
- Lopes de Sousa Jabbour, A., Chiappeta Jabbour, C. J., Sarkis, J., & Govindan, K. (2014). Brazil's New National Policy on Solid Waste: Challenges and Opportunities. *Clean Technologies and Environmental Policy*.
- López, M., Giraldo, E., & Arenas, J. (2011). *Logística Integral: Una Propuesta Práctica para su Negocio*. Ediciones de la U.
- Packaging Gateway*. (27 de Julio de 2014). Obtenido de <http://packaging-gateway.com/projects/alcoa-aluminio-piracicaba/>
- Palacio do Planalto Presidência da República*. (20 de Julio de 2014). Obtenido de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.html
- Real Academia de la Lengua Española. (3 de Abril de 2016). *Diccionario de la lengua española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=NZJWMiV>
- Sapag Chain, N., Sapag Chain, R., & Sapag Puelma, J. (2014). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. McGraw-Hill Interamericana.
- Sbarato, D. (2009). *Aspectos Generales de la Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos*. Editorial Brujas.
- Tetra Pak*. (18 de Abril de 2014). Obtenido de <http://www.tetrapak.com/environment/recycling-and-recovery/aluminium-and-polyethylene>
- Tetra Pak*. (23 de Junio de 2014). Obtenido de <http://www.tetrapak.com/co/las6capasdeproducci%C3%B3n>
- Tetra Pak*. (23 de Junio de 2014). Obtenido de <http://www.tetrapak.com/packages/materials>

-
- Tetra Pak*. (6 de Julio de 2014). Obtenido de <http://www.tetrapak.com/packages/chilled-packages/tetra-brik>
- Tetra Pak Brazil*. (24 de Julio de 2014). Obtenido de <http://www.tetrapak.com.br/reciclagem/cultura-ambiental-nas-escolas>
- Tetra Pak Brazil*. (24 de Julio de 2014). Obtenido de <http://www.tetrapak.com.br/reciclagem/rota-da-reciclagem>
- (2011). *Tetra Pak Brazil Sustainability Report 2010/2011*.
- Tetra Pak Cuadernillo de contenidos y sugerencias para el docente. (s.f.).
- United States Environmental Protection Agency*. (13 de Julio de 2014). Obtenido de <http://www2.epa.gov/international-cooperation/epa-collaboration-brazil#highlights>
- United States Environmental Protection Agency*. (13 de Julio de 2014). Obtenido de http://www.epa.gov/jius/policy/brazil/brazilian_national_solid_waste_policy.html
- United States Environmental Protection Agency*. (13 de Julio de 2014). Obtenido de <http://www.epa.gov/jius>
- United States Environmental Protection Agency*. (13 de Julio de 2014). Obtenido de http://www.epa.gov/jius/finance/epa/public_private_partnerships_for_urban_sustainability.html
- United States Environmental Protection Agency*. (13 de Julio de 2014). Obtenido de http://epa.gov.co/jius/policy/rio_de_janeiro/municipal_recycling_collection_expansion.html
- United States Environmental Protection Agency*. (13 de Julio de 2014). Obtenido de http://www.epa.gov/jius/projects/rio_de_janeiro/morar_carioca_verde_greener_development.html
- United States Environmental Protection Agency*. (13 de Julio de 2014). Obtenido de http://www.epa.gov/jius/projects/rio_de_janeiro/gramacho_landfill_gas_to_energy_system.html
- Von Zuben, F., Osrato, R. J., & Van Wassenhove, L. (2007). Turning Waste Into Wealth. *International Commerce Review*.