

**PROPUESTA DE LOGÍSTICA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS DE
PET Y CARTON EN LA SOLUCIÓN DE VIVIENDA ECO SUSTENTABLE EN LA
CIUDAD DE POPAYÁN**

**CRISTIAN DAVID HURTADO BEDOYA
GREIDY JHOJAN MEDINA GONZALES**

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Director

JOSE FERNANDO RUIZ

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2023**

CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
2	JUSTIFICACIÓN	9
3	OBJETIVOS	12
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	12
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4	MARCO REFERENCIAL	13
4.1	ANTECEDENTES.....	13
4.1.1	INTERNACIONALES.....	13
4.1.2	NACIONALES	16
4.1.3	LOCALES.....	18
4.2	MARCO TEÓRICO.....	19
4.2.1	LOGÍSTICA INDUSTRIAL	19
4.2.2	NEGOCIOS EN LA BASE DE LA PIRÁMIDE	20
4.2.3	PET	21
5	METODOLOGÍA	23
5.1	ENFOQUE DE ESTUDIO	23
5.2	TIPO DE ESTUDIO.....	23
5.3	HIPOTESIS	24
5.4	DISEÑO DEL ESTUDIO	24
5.5	POBLACIÓN Y MUESTRA	24
5.6	FUENTES DE INFORMACIÓN	24
5.7	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	25
5.8	HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	25
5.9	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	25
5.10	FASES	25
6	ESTUDIOS SOBRE CONSTRUCCION DE VIVIENDA EN POPAYAN	27
6.1	ANÁLISIS DE LA ENCUESTA.....	27
6.2	ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS.....	33

7. COMPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS PET	36
8. PROPUESTA LOGÍSTICA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS DE PET Y CARTÓN.....	40
9. CONCLUSIONES.....	55
10. BIBLIOGRAFÍA O REFERENCIA.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. ICCV de Popayán 2010-2018.....	10
Figura 2. Monómero que se repite en el PET.....	21
Figura 3. Los materiales reciclados que más están disponibles son los cartones y las botellas plásticas.	28
Figura 4. Clase de ladrillos utilizados en las construcciones	30
Figura 5. Ninguno de los establecimientos en Popayán, en la actualidad, venden ladrillos de plástico reciclado.	31
Figura 6. La aceptación del empleo de los ladrillos de plástico reciclado es del 95%.	32
Figura 7. Cortado de la arcilla.....	37
Figura 8. Enfriado y clasificación de los ladrillos de cerámica.....	37
Figura 9. Picado y mezclado de cartón	38
Figura 10. Ladrillo PET prototipo	38
Figura 11. Diagrama de procesos para los ladrillos PET	41
Figura 12. Cantidad de material por ladrillo PET	42
Figura 13. Proceso de alistamiento del material.....	43
Figura 14. Mezclado	43
Figura 15. Moldeado y secado de los ladrillos PET	44
Figura 16. Trituradora de PET.....	45
Figura 17. Moldeadora (compresora) de ladrillos PET	45
Figura 18. Trompo mezclador	46
Figura 19. Cinta transportadora.....	46
Figura 20. Montacargas apilador	47
Figura 21. Horno para secado.....	47
Figura 22. Localización de la planta.....	48
Figura 23. Distribución en planta	49
Figura 24. Modelo proyección vivienda VIS	52
Figura 25. Logo y lema empresarial	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Costos de los diferentes ladrillos	7
Tabla 2. Materiales reciclables en Popayán.	27
Tabla 3. Clase de ladrillos en Popayán.	29
Tabla 4. Conocimiento de establecimientos que comercializan ladrillos de plástico reciclado.	30
Tabla 5. Dispuestos a utilizar ladrillos de plástico reciclado en las construcciones.....	32
Tabla 6. Estadística descriptiva de los valores que pagarían por un ladrillo de plástico reciclado.	33
Tabla 7. Zonas de la planta y su área	49
Tabla 8. Costos de la maquinaria.....	50
Tabla 9. Costos operativos mensuales	50
Tabla 10. Costos de materia prima	51
Tabla 11. Flujos de caja	53
Tabla 12. Indicadores financieros.....	53

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el informe de Naciones Unidas sobre la población, para 2030 se prevé un incremento de 1470 millones de personas, con las respectivas crecientes presiones sobre los recursos no renovables como el agua, o rubros como el consumo energético y la necesidad de vivienda. Igualmente, este incremento demográfico significa una agudización de los problemas de tipo ambiental como el incremento en la emisión de dióxido de carbono, causado por los procesos industriales destinados a construir materiales de construcción tradicionales; un mayor volumen de basuras, entre las que destacan desechos plásticos no biodegradables.

Así, se hace prioritaria la búsqueda de soluciones de medios de transporte sustentables, de viviendas ecoeficientes, de materiales alternativos o en desarrollo de soluciones que utilicen los plásticos desechados, como botellas, bolsas plásticas, entre otros.

Particularmente en los países con alto déficit de vivienda como aquellos situados en las regiones en vía de desarrollo, donde existe mayor número de personas en condiciones de vulnerabilidad, es pertinente encontrar soluciones de vivienda dignas, que tengan unos presupuestos al alcance de quienes están en la base de la pirámide y que, además, cumplan con las nuevas exigencias de viviendas eficientes, de manera que se contribuyan a conservar el medio ambiente y a dar una solución al problema de la falta de vivienda, (Faivre-Tavignot, 2016; Prahalad, 2005).

Una solución a corto plazo está en la producción de ladrillos ecológicos (eco ladrillos) contruidos con desechos plásticos comunes, como el tereftalato de polietileno (PET), que permite la construcción de viviendas completas o de secciones de estas, que son más económicas, contribuyen positivamente al cuidado del ambiente y favorecen a los estratos socioeconómicos más bajos de la población tanto rural como urbana, como sucede ya en experiencias llevadas a cabo en Kenia, Malasia o India.

Además, los ladrillos ecológicos pueden fabricarse de manera industrial utilizando un extrusor y una máquina hidráulica de prueba, fundamentalmente, (Deepak-Shiri, Varun Kajava, Ranjan, Nikhil-Lloyd, & Vikhyat, 2015) y aplicando las etapas de recolección de las botellas plásticas y materiales que utilizan PET, aplicando el método de construcción de los ladrillos que se ha seleccionado; siguiendo el proceso de colocación y conformación de los ladrillos y su utilización posterior en construcciones, (Sharma, 2017).

Por otra parte, en la post construcción, los ladrillos ecológicos pueden utilizarse para construir paredes interiores de viviendas, para utilizarse en paredes mixtas, para sustituir las aplicaciones del concreto en pisos o pavimentos, e inclusive, podrían realizarse pruebas para ver su efectividad como material resistente al fuego, siguiendo las tendencias de investigación en materiales de construcción, realizando pruebas de absorción, comparando pesos de los ladrillos, mostrando los resultados de las pruebas de esfuerzo, etc., como plantea. (Nursyamsi, Indrawan, Surbakti, & Glory, 2015).

Además, los ladrillos plásticos PET utilizan cartón, bolsas plásticas, pegamento, una prensa hidráulica para comprimirlos, pudiéndose fabricar hasta 80 ladrillos por minuto, en tanto que su resistencia es como mínimo de 57% mayor que la de los ladrillos tradicionales; con ello, los mercados potenciales pueden ser las casas en zonas rurales, los hoteles turísticos, las casas en las playas, los proyectos de vivienda de interés social, las constructoras, entre otros (Aguilar-Rangel & Segovia- Defaz, 2021; Villafuerte, 2015; Carrasco & Morales, 2021).

Los proveedores de materias primas en la ciudad de Popayán pueden ser los integrantes de asociaciones como AREMARPO, (Asociación de Recolectores de Materiales Reciclables de Popayán), lo cual generará un impacto positivo sobre la base de la pirámide.

Con referencia a los costos, se consultó sobre diferentes alternativas de ladrillos, que son los bloques de construcción de cualquier estructura de vivienda, ver tabla 1.

Tabla 1. Costos de los diferentes ladrillos

Ítem	Precio unitario (\$)	millar (\$)
Ladrillo de arcilla tradicional	700	700000
Ladrillo fanal	950	950000
Ladrillo ecológico arena, cemento y arcilla	1150	950000
Ladrillo de concreto	1200	950000
Ladrillo ecológico PET	70	70000

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo con el análisis hecho sobre costos de los ladrillos elaborados en el mercado, la opción de ladrillos PET es la más barata, lo que confirma esta opción como la más factible para realizar una implementación a nivel industrial de este tipo de ladrillo. Ver tabla 1.

Con base en este primer estudio de precios, surge la pregunta de investigación: *¿Es viable la producción de ladrillos cuya base de fabricación sean los PET y El Cartón, para contribuir a dar solución al problema de vivienda que aqueja la ciudad de Popayán, de una manera eco sustentable?*

2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, en diversas partes del mundo se contempla el empleo de distintos tipos de plástico, mezclas heterogéneas con otros materiales como ceniza, cal, arena, para la fabricación de ladrillos ecológicos que se emplean fundamentalmente en la construcción de casas en áreas rurales, como sucede en África, o también, para levantar muros en los interiores de viviendas (Tawab et al ,2020; Kumar et al ,2020; Cabo-Laguna ,2011).

En América Latina, países como Perú, ha popularizado el uso de este tipo de elementos de construcción de viviendas para los estratos más vulnerables, y para promover proyectos de vivienda de interés social. Además, está la posibilidad de su empleo en conjuntos habitacionales que apuesten por la ciudad inteligente, causando un impacto positivo al medio ambiente por las propiedades de regulación térmica, resistencia a la compresión y al fuego de este tipo de ladrillos.

En Colombia particularmente los ladrillos plásticos son foco de la atención en diversos ámbitos investigativos de la Ingeniería Industrial, la Ingeniería Civil y la Arquitectura, así como también en la Administración de Empresas donde se exploran las posibilidades de su producción y comercialización (Herrera-Troncoso et al, 2018; Blanco et al. ,2018).

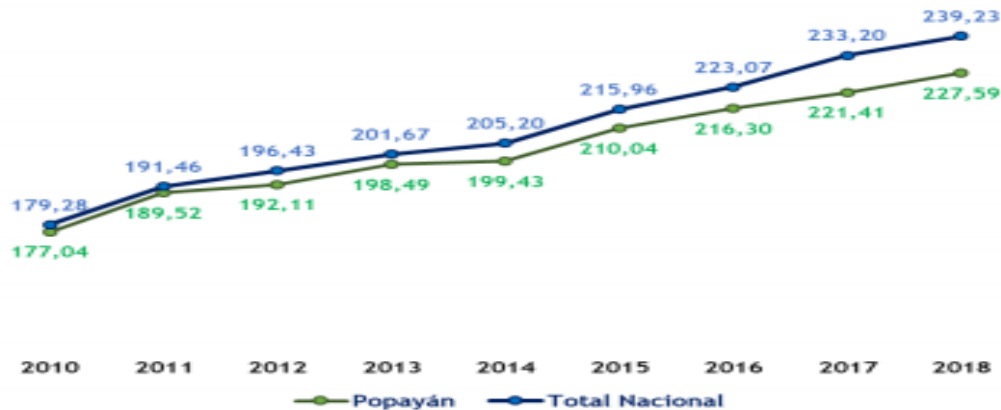
El Cauca presenta elevados déficits cuantitativos y cualitativos de vivienda; en Popayán un 15 y 20% respectivamente del mismo déficit se presenta, y exhibe un crecimiento desordenado, por lo que se está revisando el plan de ordenamiento territorial para que la expansión urbana que se haga en las zonas como San Bernardino, sea más armónica en el futuro; de igual manera, la pandemia ha agudizado las crisis sociales existentes y los niveles de desempleo son mayores de forma que el mayor déficit se presenta en las viviendas de interés social (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2021).

Esta idea de construcción es una oportunidad para los inversionistas que quieren realizar proyectos de vivienda en la ciudad, ya que, a partir de 2010, el índice de costos de construcción de vivienda (ICCV) ha incrementado, sin embargo, en esta ciudad ha estado por debajo de la proyección nacional; así para 2018 en Cauca era de 227.59, más bajo del valor nacional que estaba en 239, 23; esto indica que es más barato construir en la ciudad, particularmente en zonas periféricas o rurales(Cámara de Comercio del Cauca, 2019).

Además, las variaciones por grupos de costos, para 2021, indican que el mayor incremento se da en el costo de materiales (9.12%), seguido por la mano de obra (3.02%), la maquinaria y equipo (1.56%), lo que se refleja en la variación del ICCV de Popayán de alrededor de 7.10% por encima de la variación nacional en 2021, porque los materiales de construcción subieron de precio debido al impacto de la pandemia, alrededor de 71%, particularmente los hierros y aceros (27.84%). (https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/iccv/bol_iccv_dic21.pdf).

En este orden de ideas, materiales de construcción más económicos como los ladrillos de plástico reciclado PET son una opción atractiva, máxime cuando se pueden utilizar en diferentes estructuras, con múltiples ventajas, haciendo accesible la vivienda de interés social.

Figura 1. ICCV de Popayán 2010-2018



Fuente. www.ccauca.org.co/sites/default/files/imagenes/11_indice_de_valoracion_predial.pdf

En este contexto, la construcción de viviendas con ladrillos ecológicos o la utilización de este tipo de materiales eco eficientes en muros no estructurales, pisos o pavimentos, no solo impacta positivamente las comunidades menos favorecidas, promoviendo acciones dedicadas al mejoramiento de las condiciones de vida de estas personas a través de programas de las entidades encargadas de las políticas públicas, mediante la estrategia de enfoque en la base de la pirámide; por otra parte, permite generar posibilidades micro empresariales que se dediquen a esta actividad, y que sigan el modelo logístico de producción propuesto en esta investigación.

En Popayán, durante el año 2019, se produjeron alrededor de 6.341.3 toneladas mensuales de residuos domiciliarios, de los cuales, aproximadamente 5,2% son plásticos reciclables, es decir, 330 toneladas al mes.

Esto proyectado a 2022, a la tasa de 11.8%, que es la velocidad a la que crece en Colombia el rubro de residuos domiciliarios, implica un volumen mensual de 412 toneladas, (Mosquera, 2019). Esta es una base importante de materia prima PET para este proyecto; así mismo, que el 17% de los 12 millones de toneladas de basura producidas en el país, 17%, 2.04 millones de toneladas son de papel y cartón, puesto que este es otro componente clave de los ladrillos ecológicos propuestos. (<https://caracol/radio/2019/10/13/nacional/1570982218.html>).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta en logística para la fabricación de ladrillos a base de PET y cartón en la solución de vivienda eco sustentable en la ciudad de Popayán.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Llevar a cabo los estudios técnicos, ambientales y socioeconómicos relacionados con la construcción de viviendas en Popayán.
- Realizar un comparativo de las materias primas utilizadas para la fabricación de ladrillos tradicionales versus las materias primas necesarias para la fabricación de los ladrillos PET.
- Elaborar una propuesta logística para la fabricación de los ladrillos a base de PET y cartón.

4 MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

4.1.1 INTERNACIONALES

Tawab et al (2020), destacan el importante papel que tiene el plástico en la sociedad moderna por su bajo costo, facilidad de fabricación y calidades atractivas, lo que implica que sea un material de uso diario, produciéndose alrededor de 300 millones de toneladas al año a nivel mundial, 25% del cual es reciclado, 7 millones de toneladas terminan como desperdicios en el mar, causando serios problemas ambientales y de salud; por ello, los desperdicios plásticos plantean un serio reto a la sociedad moderna puesto que en su composición figuran varios químicos tóxicos que pueden contaminar el aire, el suelo y el agua si no se manejan adecuadamente. Por esta razón, es importante aumentar el porcentaje de plástico reciclado mediante estrategias que transformen los desperdicios en productos de mortero y concreto apropiados para la construcción de estructuras y casas.

Tawab et al (2020), afirman también, que el objetivo principal de su estudio consiste en evaluar el uso de desperdicios de bolsas plásticas como remplazo del cemento en la producción de bloques de concreto y ladrillos para la construcción, a través de los siguientes objetivos específicos: producir ladrillos de construcción revisando arena y desperdicios plásticos; producir bloques de concreto utilizando arena, grava y desperdicios plásticos; en ambos casos, los desperdicios plásticos se utilizaron para reemplazar de forma total el cemento. A nivel metodológico, su estudio es de tipo cuantitativo, con un alcance descriptivo y un diseño experimental.

Los materiales utilizados para la experiencia fueron harina, gravas y bolsas plásticas recicladas, las que se obtuvieron en una bodega de gestión de residuos sólidos de la ciudad de Giza; los demás materiales se obtuvieron de los proveedores locales, y para derretir las bolsas plásticas se utilizó leña.

Los autores en su artículo, proponen el empleo de bolsas plásticas como remplazo de una proporción del cemento en la producción de ladrillos para construcción y bloques de concreto; se centran en las pruebas de conductividad térmica y concluyen que esta propiedad es inversamente proporcional al contenido de material plástico en el bloque de concreto; de igual manera, los

ensayos de flexibilidad muestran que el momento de flexión y la resistencia a esta, aumentan en función del porcentaje de plástico en el bloque.

Estos autores sostienen que el empleo de desperdicios plásticos en la fabricación de materiales de construcción, como ladrillos y bloques de concreto, tiene ventajas como su peso ligero, su extrema versatilidad y capacidad para ser manipulado a fin de cumplir necesidades técnicas específicas; además, de esta manera se reducirá de los problemas ambientales asociados con los la disposición de residuos plásticos y de cemento.

Kumar et al (2020), aportan un estudio que describe las etapas fundamentales de la fabricación de ladrillos plásticos a base de polietileno de baja densidad (LDPE), señalando que, en sitios rurales, montañosos, donde no existen sistemas de recolección de basura, debido a las actividades turísticas, los desperdicios plásticos son un grave problema a nivel ambiental, porque contaminan el agua y el aire.

En consecuencia, se pueden utilizar las bolsas plásticas, hechas de polietileno de baja densidad, junto con arena en porcentajes específicos, en la fabricación de ladrillos plásticos de gran resistencia con buenas propiedades térmicas y de aislamiento acústico, que ayuden a reducir los costos de construcción y a disminuir la contaminación ambiental. Los materiales en sí son de bajo costo porque existe una abundancia de bolsas plásticas y la arena está disponible en los lechos de minas y ríos; además se pueden utilizar pigmentos para dotar de color a los ladrillos obtenidos, que son de peso ligero, con superficies parejas y bordes finos, que no tienen fracturas, alta resistencia al aplastamiento y una muy baja absorción de agua. Además, estos ladrillos pueden ser fabricados al calentar el desperdicio plástico en un rango de temperatura que va de 120 a 150 °C, pudiendo mezclarse con arena en un molde plástico.

Las fases consignadas para la fabricación de los ladrillos plásticos son los siguientes: recolección de los materiales; clasificación de los desperdicios plásticos; quemado de los desperdicios plásticos; mezcla; moldeado; secado por un periodo aproximado de 24 horas.

Los autores concluyen sobre los resultados de su experiencia que ladrillos plásticos pueden ser una muy buena alternativa a los ladrillos tradicionales, siendo empleados en paredes divisorias internas y en paredes externas, pero no en paredes que soportan fuertes cargas; los costos de fabricación de cada ladrillos son mucho más bajos que los de los ladrillos tradicionales, lo que los hace una

alternativa mucho más barata, además de ser resistentes al agua, por lo que pueden ser utilizados en estructuras impermeables; finalmente, la reutilización de plástico los reducirá la contaminación ambiental.

Cabo-Laguna (2011), expone las experiencias hechas en la Universidad Politécnica de Navarra para lograr una mezcla idónea que permitan desarrollar *ecoladrillos* que sean sustituto idóneo para el ladrillo convencional, utilizando como aditivos comerciales cemento y cal hidráulica; como aditivos resistentes las cenizas de cáscara de arroz; como aditivo estructurante las cascarillas de arroz; estos dos últimos aditivos constituyen un aporte ambiental porque contribuyen a reducir los millones de toneladas de cenizas de los que están en los vertederos del mundo.

Después de realizarse cuatro fases en la búsqueda de la mezcla ideal que difiere en las características muy poco de aquella de los ladrillos tradicionales, se ha logrado un ladrillo ecológico tipo puzolana y, sin cocción, que incorpora aditivos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente, de bajo costo y que en su proceso de fabricación significa un ahorro energético; su composición es la siguiente: está hecho con 10% de suelo arcilloso (marga gris) , 5% de cal hidráulica natural, 8% de cenizas de cáscaras de arroz residuo de la industria de la biomasa, y un 5% de cascarillas de arroz subproducto de la cosecha del mismo. Es un producto con óptimas características mecánicas, obteniéndose buenos resultados de resistencia a compresión y a inmersión en agua, y excelente durabilidad frente a temperaturas extremas, además la apariencia del mismo es totalmente innovadora.

Aguirre & Ubillus (2020), describe la manera en que se desarrolla una planta piloto automatizada de trituración tiene el propósito de reciclar los residuos plásticos de polietileno de baja densidad (LDPE) obtenidos en el área de preparación de pasta (pulper's) de una empresa papelera, con la finalidad de generar material plástico triturado apto para la fabricación de ladrillos ecológicos.

La automatización implica analizar parámetros como la estructura física de la planta piloto, los sistemas de sensores industriales, la programación de los autómatas programables, la determinación del ángulo de filo de corte óptimo del sistema de cuchillas.

El aporte de este diseño es su contribución a reducir los volúmenes de plásticos generados puesto que son utilizados como materia prueban un nuevo producto de bajo costo y de gran utilidad en el

área de la construcción, además, impulsa la economía circular de las empresas, contribuye al medio ambiente y crea nuevas fuentes de trabajo.

4.1.2 NACIONALES

Herrera-Troncoso et al (2018), parte de la creciente conciencia que tiene la sociedad sobre la escasez de recursos naturales y la necesidad de aprovecharlos al máximo a través de la transformación de los patrones de consumo y de la promoción de una producción eficiente y sustentable de los recursos disponibles; por ello, dado que en Colombia no existe en el mercado un tipo de material para la industria en la construcción que está en concordancia con la producción industrial verde, se propone la fabricación de materiales de construcción hechos a partir de la celulosa del papel y cartón reciclados, con lo cual se pueden investigar mezclas y aditivos para la elaboración de prototipos de ladrillos ecológicos, con buenas propiedades acústicas y térmicas.

Estos autores exponen que en Colombia para el año 2015 se habían producido cerca de 27.000 toneladas diarias de residuos provenientes de distintas fuentes como hogares, comercio, industria, plazas de mercado, etc.; del total de estos residuos urbanos, el papel y cartón constituyen entre el 16 y el 25%, de los cuales se podía recuperar hasta un 70%; estos residuos están conformados principalmente por mezclas de papel, revistas, periódicos, en base de productos alimenticios, cajas de cartón y papel de alta calidad guisadas sin impresión y reproducción digital.

La investigación reveló que era posible innovar mediante compuestos que permitieran fabricar ladrillos, paneles en láminas para construcciones internas no estructurales, a partir de papel y cartón reciclado una vez que se logre el porcentaje celulosa en las mezclas de muestras apropiado, para que éstas tengan un nivel de absorción de agua adecuado y de manera concomitante se mejore su resistencia.

Al lograr esta meta, se tendrá una alternativa ecológica y económica para la construcción y se abrirá un espacio para que se sigan utilizando materiales secos sustentables en el desarrollo de nuevos materiales de construcción.

Blanco et al. (2018), exponen que, a raíz de la creciente necesidad de promover reciclaje y la producción limpia, en aras de obtener un desarrollo sustentable, se buscará en el avance de comunidades indígenas Wayuu del departamento de La Guajira, mediante la investigación sobre

alternativas de producción de soluciones de vivienda secos sustentables que ofrezcan espacios saludables y confortables, es decir, un hábitat para humanos, utilizando materiales plásticos como el PET, que permite desarrollar bloques de construcción o ladrillos para suplir esta necesidad de vivienda de interés social, con un valor añadido que es el beneficio ambiental y económico.

Por tanto, generan estos autores una investigación experimental, con trabajo de campo, que ha sido desarrollada por los aprendices del programa de Tecnología en Construcción, del Centro Industrial y de Energías Alternativas del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Regional Guajira, quienes ejecutaron las siguientes fases o ciclos: Fase I: Compilación y análisis de información existente; Fase II: clasificación y selección de los materiales; Fase III: fabricación del molde; mezclado de materiales y elaboración de los bloques Fase IV: realización de ensayos de resistencia y compresión. Como resultado de este proyecto se presentarán prototipos de bloques fabricados con materiales PET, demostrando su factibilidad en términos de reducción de peso por unidad, resistencias de los materiales usados, ventajas de su utilización y grado de reducción de costos económicos obtenido.

A la luz de las pruebas realizadas de los prototipos de ladrillo ejecutados en esta investigación, se puede afirmar que el empleo de polietileno tereftalato (PET) para la creación de ladrillos implica beneficios potenciales de reducción de la contaminación visual en la comunidad, a la reducción del deterioro de la capa de ozono, y la disminución de los desperdicios plásticos contaminantes en el medio ambiente.

Martinez & Cote (2014), puntualizan que uno de los procesos industriales más contaminantes del medio ambiente es la producción de ladrillos tradicionales donde se liberan grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera puesto que se utilizan materiales combustibles como el carbón y las llantas de caucho como fuentes de energía; por este motivo, se propone el diseño y fabricación de un ladrillo compuesto por cemento y escamas de PET, a los que se evalúa su resistencia y compresión utilizando una máquina de tracción.

Esta iniciativa investigativa llevada a cabo en la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, utiliza escamas de PET por su bajo costo y porque entre sus propiedades más importantes están los siguientes: es una barrera para los gases como el dióxido de carbono, así como para la humedad y el oxígeno; es transparente y cristalino, si bien puede dotárselo de

color; es liviano, irrompible, resistente al desgaste y al esfuerzo constante; es totalmente reciclable e impermeable.

Los resultados demuestran que se obtiene así un ladrillo que es resistente en comparación al ladrillo tradicional, con un esfuerzo máximo superior y con un costo inferior, lo que lo transforma en una alternativa de negocios atractiva

4.1.3 LOCALES

Dorado & Lopez (2018), realizaron un estudio de factibilidad sobre la reutilización en un procesamiento de los plásticos usados en la ciudad de Popayán para recuperar el plástico PET, que al procesarse convierte materia prima para la fabricación de ladrillos ecológicos.

De esta manera, se contribuye a reducir la contaminación ambiental, disminuyendo la cantidad de estos plásticos en el ambiente, generando oportunidades de negocios, al proponerse una empresa productora y comercializadora de estos desechos plásticos con miras a la transformación del sector de la construcción en la ciudad.

Así, se realizó una investigación sobre el empleo del plástico PET reciclado, los potenciales clientes y proveedores, el diseño del proceso de su producción, las máquinas necesarias en planta, la probable oferta y demanda del producto, determinando la factibilidad de la creación de una empresa dedicada a esta actividad y su mezcla de marketing global.

Se concluye que la creación de esta empresa es factible ambiental, financiera y socialmente, de forma que su creación sería una gran contribución al desarrollo regional y para favorecer la inclusión social.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 LOGÍSTICA INDUSTRIAL

La logística es una función vital para las operaciones dentro y entre organizaciones y ha evolucionado siguiendo los cambios y necesidades de la economía; para épocas específicas como aquellas de la Segunda Guerra Mundial, se estaba en una situación doméstica, donde se administraban las cosas de la mejor manera que se podía; luego, en el periodo de 1945 hasta los años 1970, el enfoque estaba puesto en el flujo físico y en la distribución en masa a los consumidores finales, de manera que se hablaba de estandarización para poder llegar al mayor número posible de clientes; sin embargo, las presiones en la industrialización y la fuerte competencia, obligaron hacia los años 1980, a las organizaciones, a controlar sus costos y así, el control financiero, se convierte en actividad logística a través de la implementación de una contabilidad analítica que buscaba evaluar la productividad de un portafolio de productos.

Los años 1990 derivan hacia el flujo de información como componente clave de la logística, debido ahora a la personalización de productos y servicios, desde la perspectiva que los clientes serán quienes fijan y ordenan los parámetros, y por tanto motivan la producción; con ello, se ingresa la estrategia logística; finalmente, a comienzos de este siglo, se emigra hacia la gestión sustentable y la Cadena de Suministro, es decir, hacia los roles de sostenibilidad económica, ambiental y social de la logística (Morana, 2018).

De esta manera, la logística se puede definir como “la planeación, ejecución y control de los movimientos e implementaciones de personas, bienes y actividades de soporte, relacionadas con estos movimientos e implementaciones dentro de un sistema organizado para cumplir objetivos específicos; el propósito de la función logística es satisfacer las necesidades expresas o potenciales bajo las mejores condiciones económicas y de acuerdo a un nivel dado de servicios” (Kara et al 2015).

Entonces, la cadena de suministro, vista como una red de organizaciones que están involucradas en los flujos de materiales y productos, en diferentes procesos, actividades de la producción de valor en términos de productos y servicios que van a llegar a los consumidores finales, es una de

las prioridades de la logística en la actualidad, bajo la lente de la sociedad de la información, de los presupuestos de la sustentabilidad y de la responsabilidad social empresarial.

Así, las organizaciones deben enfatizar en siete principios para la gestión de la cadena de suministro a fin que se obtengan los crecimientos esperados, se manejen los recursos con optimalidad y se reduzcan los costos: segmentar a los clientes con base en sus necesidades; personalizar la red logística; poner atención a las señales en la demanda del mercado ajustar los planes en concordancia; diferenciar los productos que estén más cerca de los usuarios; apostar por productos de alta calidad a un precio razonable; desarrollar una estrategia tecnológica que soporte la cadena de suministro; establecer indicadores de desempeño en la cadena de suministro (Langly et al., 2020).

Por tanto, la propuesta que se hace en esta investigación está de acuerdo con la gestión sustentable de la cadena de suministro, con el principio de buscar los mejores productos al costo más razonable y de satisfacer necesidades de los clientes, particularmente de aquellos que carecen de vivienda, es decir, se tienen proyecciones sociales implicadas en los denominados negocios en la base de la pirámide.

4.2.2 NEGOCIOS EN LA BASE DE LA PIRÁMIDE

Las organizaciones en la actualidad deben adoptar modelos de responsabilidad social empresarial (RSE), que les permitan satisfacer las necesidades de los clientes internos y de los clientes externos, cumplir con las exigencias de una sociedad donde la sustentabilidad es prioritaria, puesto que las empresas que utilizan los recursos comunes deben retribuir a la sociedad, acciones que propendan por disminuir las brechas de la inequidad social y además iniciarse de la denominada innovación inversa, que consiste en incorporar a la cadena productiva a sectores vulnerables que puedan aportar mano de obra, o productos directamente, sobre una base específica, como ha sucedido con las maquiladoras en los países en vías de desarrollo; igualmente, la dos emprendimientos que buscan favorecer a estas comunidades rurales o un desigualdad social, incluyendo los como proveedores directos en las cadenas de suministro, como podría ser el caso de los recicladores de la ciudad de Popayán que mediante una adecuada capacitación podrían proveer la materia prima de los ladrillos ecológicos a un costo razonable (Faivre, 2016).

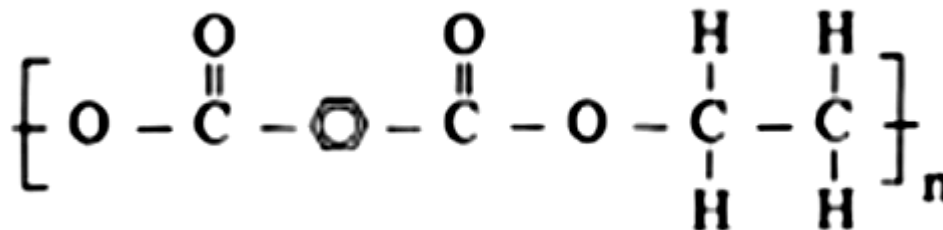
El concepto de base de la pirámide se introdujo originalmente para enfatizar que de 4000 a 5000 millones de personas en el mundo no están siendo suministradas con bienes o servicios o son parcialmente servidos por grandes organizaciones del sector privado subiendo las firmas multinacionales; este grupo, hasta hace poco ignorado por el sector privado, puede ser una fuente de necesidades a suministrar y también de crecimiento económico. (Prahalad, 2009).

Por esta razón, está significativa cantidad de micro consumidores y micro productores, constituyen un mercado potencial importante y representan una máquina de innovación, vitalidad y crecimiento siendo esta base de la pirámide dinámica y una fuerza que puede ser fundamental para repensar las ideas de negocios; en particular, en nuestra propuesta estas micro fuerzas pueden llegar a ser los proveedores principales de la materia prima necesaria para fabricar los ladrillos ecológicos y estas mismas micro fuerzas pueden ser uno de los consumidores potenciales.

4.2.3 PET

El tereftalato de polietileno (PET), es un polímero termoplástico que pertenece a la familia del polyester puesto que contiene el grupo éster en su cadena principal; el monómero se sintetiza principalmente a través de las reacciones de esterificación del etilenglicol y del ácido tereftálico; la síntesis es seguida inmediatamente por una polimerización a través de la poli condensación que da como resultado el polímero y como subproducto, agua. En la figura 2 se muestra la unidad repetitiva de la cadena el polímero en el PET (Salminen, 2013).

Figura 2. Monómero que se repite en el PET



Fuente.Salminen,2013, p.16.

De acuerdo a Forrest (2016), en el mundo, el principal uso de PET es el de botellas para bebidas, seguido de aplicaciones de termo formación, botellas y jarras para alimentos, botellas y jarras que no son para alimentos, empaques para detergentes y productos químicos, empaques médicos y farmacéuticos y empaques para cosméticos y elementos de tocados, siendo la proyección global de su crecimiento de 5:2% en millones de toneladas; además la región que más PET usa en el mundo es Norteamérica, seguido por Asia del pacífico, Europa occidental, el Medio Oriente y África, Centro y Sudamérica y finalmente los países de oro Europa oriental; sin embargo, las proyecciones de crecimiento de uso de PET más importantes están en Asia del pacífico y en Sudamérica.

5 METODOLOGÍA

5.1 ENFOQUE DE ESTUDIO

Se trata de una investigación cuantitativa que según Hernandez-Sampieri & Mendoza (2018), es la ruta utilizada para comprobar ciertas suposiciones. “Cada fase preceda a la siguiente sin eludir pasos, con orden riguroso, que se puede redefinir. Parte de una idea que se delimita y, una vez acotadas, se generan objetivos de investigación, revisándose la literatura para construir una perspectiva teórica” (p.6).

Esta elección se fundamenta en que la investigación se enfoca en las acciones logísticas de la fabricación de ladrillos PET ecológicos, lo que implica determinar los métodos de producción, de almacenamiento, de distribución de estos ladrillos y, además, tener en cuenta las variables externas como son las fuentes de materia prima y las condiciones de transporte tanto de estas, como del producto final; además, se añade valor a la propuesta porque se trata de una solución eco sustentable que se puede utilizar a bajo costo en aplicaciones de vivienda tanto en el sector urbano como el lugar puede proyectarse a la base de la pirámide.

5.2 TIPO DE ESTUDIO

Esta investigación tiene un carácter descriptivo que según Hernández-Sampieri et al (2018), “son los estudios que tienen como finalidad especificar propiedades y características de conceptos, fenómenos, variables o hechos en un contexto determinado” (p.108). Así, se trata de mirar la manera en que se puede promover la construcción de ladrillos plásticos eco sustentables en la ciudad de Popayán, involucrando las variables, características y propiedades de este tipo de ladrillos.

5.3 HIPOTESIS

La propuesta planteada para la fabricación de ladrillos plásticos en soluciones de vivienda eco sustentables en la ciudad de Popayán es logísticamente viable y posee impactos positivos a nivel ambiental y a nivel social en la base de la pirámide.

5.4 DISEÑO DEL ESTUDIO

Dado que el diseño de una investigación tiene como propósito analizar la certeza de la hipótesis planteada, se tiene aquí un diseño no experimental, puesto que no se manipulan las variables de forma deliberada y se observa el fenómeno en su contexto natural, de corte longitudinal porque los datos se recolectan en diferentes momentos del tiempo (Hernández Sampieri et al., 2014).

5.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está conformada por todas las organizaciones que expenden materiales de construcción en la ciudad de Popayán, como son ferreterías, firmas de ingenieros civiles, de arquitectos, y organizaciones de obreros de la construcción.

Dorado & López (2018), exponen una muestra estimada de producción de los ladrillos reciclables de 3600 ladrillos por semana, que es la que se puede tomar como base para este proyecto.

5.6 FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes de información primarias son en este caso los estudios de mercado que se han realizado sobre la factibilidad de producción y comercialización de ladrillos PET y para la revisión bibliográfica que construye la teoría, artículo sobre la temática de los ladrillos ecológicos y también libros especializados sobre aspectos de la logística industrial, que se adquieren en línea, en bases de datos reconocidas como Springer, Google Scholar, Semantics Scholar, Research Gate, entre otras.

5.7 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se utiliza en esta investigación la observación directa, porque se trata de una experiencia concreta que se soporta en evidencias físicas tales como el comportamiento de los ladrillos ecológicos a determinadas condiciones y la forma en que estos pasan por las distintas etapas de su fabricación, teniendo en cuenta que la propuesta parte de una experiencia de fabricación previa en el ámbito académico.

La encuesta es el método de recolección de información mediante las preguntas que conforman un cuestionario con una secuencia y estructura determinadas, aplicándose a una muestra representativa de individuos de una población específica (Kumal et al., 2022).

En esta investigación, esta técnica se utiliza para indagar a los clientes potenciales sobre sus preferencias en cuanto a precio, características y usos potenciales de los ladrillos ecológicos.

5.8 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Se utilizan como herramientas para el análisis de datos, el software Minitab 19 en la ejecución la estadística descriptiva y el software abierto de hoja de cálculo Calc de la suite libre Office.

5.9 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Son los cuestionarios de encuesta que se van a desarrollar cuando se ejecute la investigación

5.10 FASES

En el primer momento se recogió la información para plantear estudios técnicos, ambientales y socioeconómicos relacionados con la construcción de viviendas en Popayán. Esto implicará mirar las tendencias que existen en el sector de la construcción en la ciudad, los planes de ordenamiento territorial, las áreas de expansión urbana, los proyectos y políticas públicas de vivienda de interés social, las organizaciones dedicadas al reciclaje y los retos para los productores, comercializadores y usuarios de los ladrillos ecológicos.

En el segundo momento se realizó un comparativo de las materias primas utilizadas para la fabricación de ladrillos tradicionales, versus las materias primas necesarias para la fabricación de los ladrillos plásticos. Esto involucrará mirar las características industriales, las propiedades y los costos tanto de los arreglos tradicionales como de plásticos en sus diversas versiones.

En el tercer momento, se elaboró una propuesta logística para la fabricación de los ladrillos plásticos. Esto abarcará definir los proveedores del material plástico PET, las fases de fabricación, las cantidades requeridas por ladrillo plástico, los procedimientos involucrados, las maquinarias necesarias y los procesos de almacenamiento; igualmente, aportar evidencias de las propiedades físicas de este tipo de ladrillos y de su idoneidad para la construcción tanto de casas de zonas rurales como aplicaciones divisorias en zonas urbanas.

6 ESTUDIOS SOBRE CONSTRUCCION DE VIVIENDA EN POPAYAN

6.1. Análisis de la encuesta.

1. Los materiales reciclados disponibles en la ciudad de Popayán según los encuestados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales reciclables en Popayán.

OPCIONES	FRECUENCIA
residuos de madera	11
residuos de Eternit	6
chuspas plásticas	18
cartones	18
botellas plásticas	17
piezas metálicas	12
desechos orgánicos	13

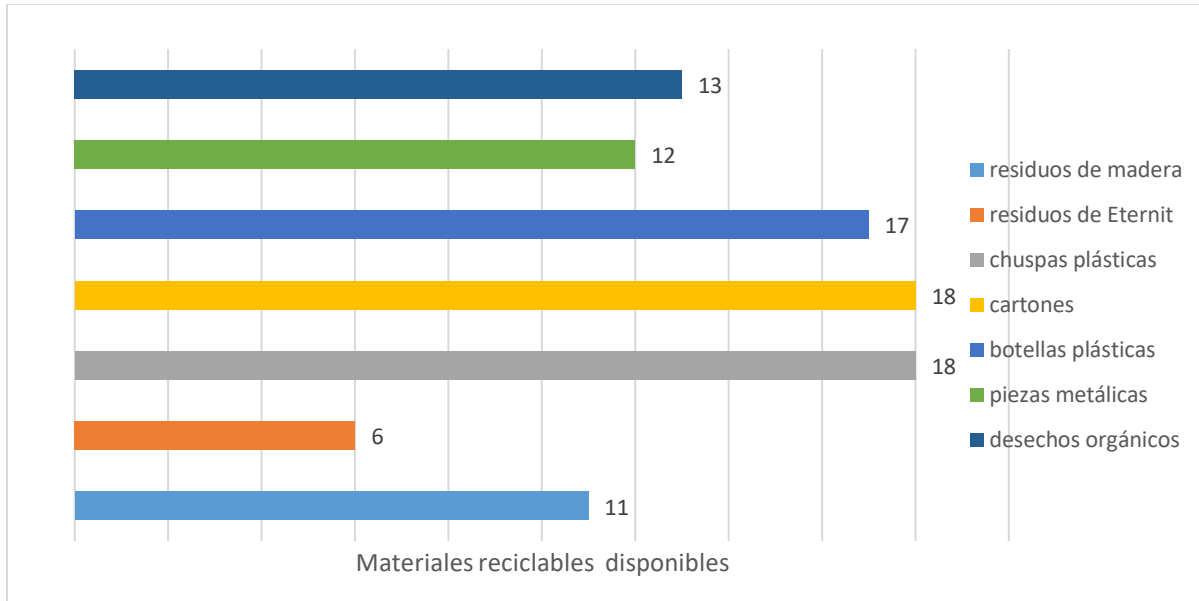
Fuente. Propia del estudio

Como se puede observar el cartón, las bolsas plásticas y las botellas plásticas son los materiales reciclables más abundantes que se pueden utilizar en la fabricación de los ladrillos ecológicos, PET, en la ciudad de Popayán. En términos de porcentaje, quiere decir que las botellas plásticas y cartones son el 19%, respectivamente; las botellas plásticas, 17%; otros materiales incluyen las piezas metálicas, 13% y los residuos de madera, 12%.

Con este resultado, es pertinente aprovechar los residuos plásticos PET para la fabricación de ladrillos ecológicos, más aún cuando 50% de las empresas existentes en Popayán no utilizan

materiales reciclados y de las 200 toneladas de residuos sólidos utilizables, el porcentaje de aprovechamiento es muy bajo (Gonzales, 2009).

Figura 3. Los materiales reciclados que más están disponibles son los cartones y las botellas plásticas.



Fuente. Propia del estudio

Desde la perspectiva técnica, PET y cartón son los componentes esenciales en la fabricación de los ladrillos ecológicos propuestos, y por tanto existe en la ciudad la disponibilidad de estas materias primas; además, el proyecto permite disminuir los plásticos que van al medio ambiente, como lo demuestran acciones institucionales como las de la CRC a través de la campaña ecobotellas, que busca potenciar el reciclaje de los residuos plásticos en la ciudad (Asocar, 2021).

Mas aún, para el año 2020 en la ciudad de Popayán, se generaron 170 toneladas al año de residuos plásticos y 25.7 toneladas al año de cartón y papel; de estos, el plástico junto con el metal, disponible, 2 toneladas al año, son empleados como materiales reutilizables en diferentes actividades, promoviéndose la innovación social a través de proyectos productivos de rutas de chatarreros y reciclaje, desperdiciándose el cartón y una parte del plástico en bolsas y Tetrapak, que son quemados en el relleno sanitario “Los Picachos”, vereda la Yunga (Delgado et al., 2021).

2. Las clases de ladrillos que se utilizan en Popayán según los encuestados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Clase de ladrillos utilizados en Popayán.

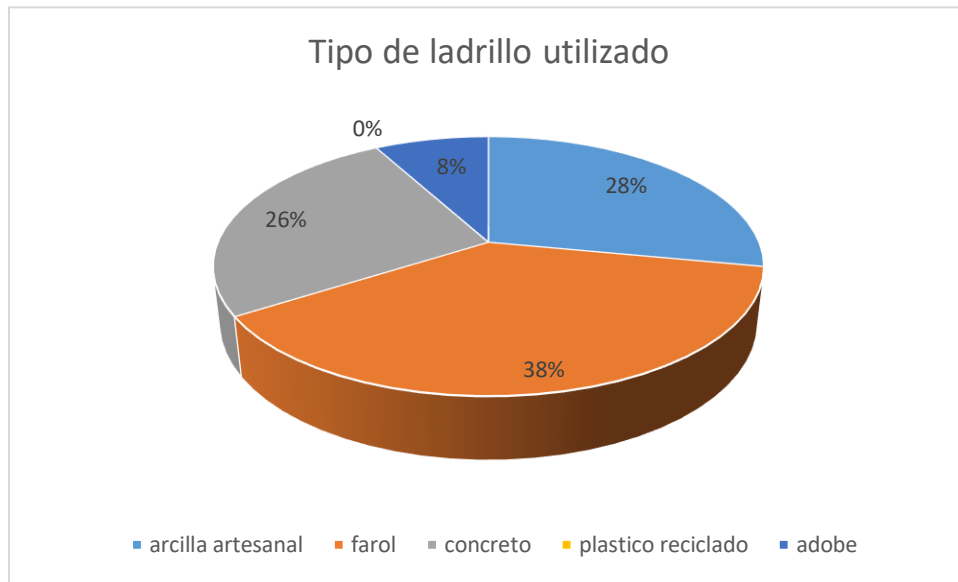
OPCIONES	FRECUENCIA
Ladrillo de arcilla artesanal	14
Ladrillo farol	19
Ladrillo de concreto	13
Ladrillo de plástico reciclado	0
Adobe	5

Fuente. Propia del estudio

En la ciudad de Popayán el ladrillo más utilizado es el ladrillo farol, que proviene de procesos industriales donde la arcilla es utilizada para fabricar ladrillos con 8, 6, 3 o 2 huecos; o ladrillos sólidos; sin embargo, este tipo de ladrillo, comercializado a través de las ferreterías y similares no es hecho en la ciudad de Popayán y se emplea en los proyectos arquitectónicos y de construcción de gran alcance. Por tanto, el ladrillo en las construcciones más comunes, en los sectores populares, o en los ambientes veredales, es sin duda alguna el ladrillo tradicional de arcilla, como lo indican los resultados de la encuesta realizada, donde la frecuencia de uso más alta es la del ladrillo farol (19); seguido por el ladrillo de arcilla tradicional (14); posteriormente el ladrillo de concreto (13); y finalmente el adobe (5).

El ladrillo ecológico de plástico y cartón o de alguna otra modalidad que involucre el plástico no se utiliza en ninguna actividad de construcción de la ciudad y no es por tanto comercializado por ningún gran distribuidor.

En términos porcentuales, el ladrillo farol representa 38% de todos los tipos de ladrillo usados en la construcción en Popayán; luego, 28% corresponde al ladrillo de arcilla tradicional y 26% es del ladrillo de concreto; solamente 8% corresponde al adobe y no existe utilización del ladrillo PET. Ver figura 4.

Figura 4. Porcentaje de clase de ladrillos utilizados en las construcciones.

Fuente. Propia del estudio.

3. Conocimiento de establecimientos de materiales de construcción que comercialicen ladrillos de plástico reciclado según los encuestado se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Conocimiento de establecimientos que comercializan ladrillos de plástico reciclado.

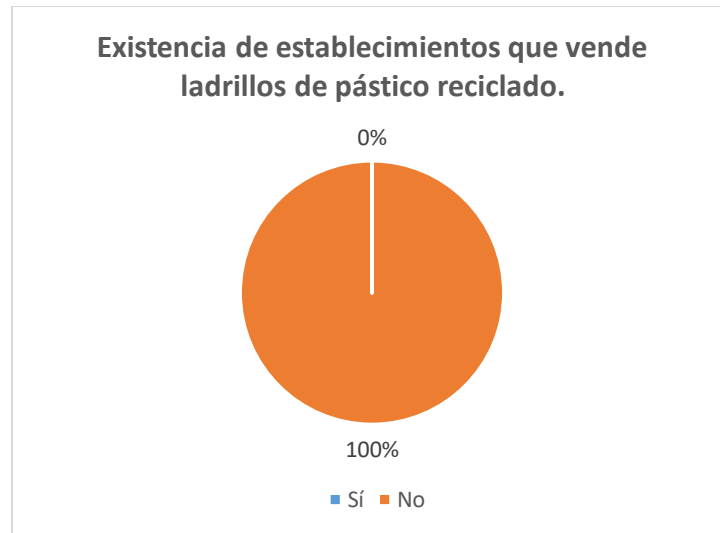
OPCIONES	FRECUENCIA
Sí	0
No	19

Fuente. Propia del estudio.

No existe en ninguno de los establecimientos que distribuyen materiales de construcción en la ciudad la oferta de ladrillos ecológicos o de plástico reciclado PET, lo que implica que no se conocen las ventajas que tienen estos ladrillos sobre los tradicionales y no se tiene pensado su oferta en el mercado por parte de las empresas y/o personas; la tendencia hacia las ciudades inteligentes y eco sustentables, a pesar que en la ciudad exista un aumento de la actividad de la construcción, es cero.

Por este motivo todos los encuestados afirman desconocer la existencia de sitios donde se distribuyan ladrillos PET. Ver figura 5.

Figura 5. Ninguno de los establecimientos en Popayán, en la actualidad, venden ladrillos de plástico reciclado.



Fuente. Propia del estudio.

4. Disposición de utilizar ladrillos de plástico reciclado en las construcciones según los encuestados se muestra en la Tabla 5.

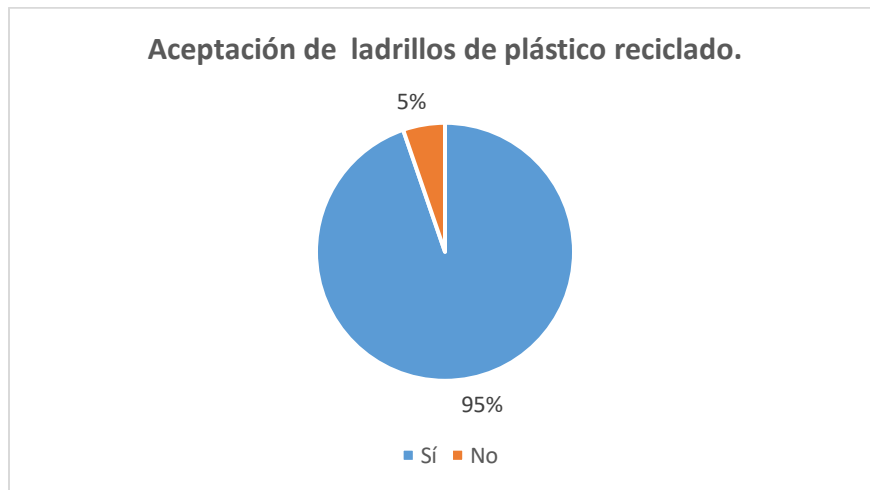
Al indagar a la población que compraría estos ladrillos ecológicos PET, 18 de ellos, es decir el 95%, respondieron que estarían dispuestos a comprarlos; mientras que solo un 5%, para nuestra muestra un (1) encuestado, respondió que no. Ver figura 6 y tabla 5.

Las botellas de polietileno (PET) son un problema, porque su uso es extensivo y generan abundantes desperdicios no degradables con impactos negativos sobre el medio ambiente, razón por la cual una de las maneras para mitigar impactos negativos es su incorporación como materiales de construcción; y capacitar a la población sobre el reciclaje de las botellas PET, informando sobre las propiedades mecánicas y físicas de los ladrillos fabricados con ellas, como por ejemplo la absorción del agua, la tasa inicial de absorción, su resistencia a encogerse con el fuego; de igual manera, desde el punto de vista técnico, es un reto encontrar un punto específico de porcentaje de plástico que debe estar incorporado al ladrillo, o a la cantidad de cartón, de tal manera que soporte la resistencia a la compresión, a la flexión y al esfuerzo de tensión, al igual que la densidad (Mohd et al., 2022).

Tabla 5. Dispuestos a utilizar ladrillos de plástico reciclado en las construcciones.

OPCIONES	FRECUENCIA
Sí	18
No	1

Fuente. Propia del estudio.

Figura 6. La aceptación del empleo de los ladrillos de plástico reciclado es del 95%.

Fuente. Propia del estudio.

5. Los valores en pesos que los encuestados están dispuestos a pagar

Desde los datos recopilados mediante la encuesta se puede ver que el valor promedio ponderado de que están dispuestos a pagar las personas por un ladrillo PET es de \$806.25, precio que se contrasta con el de un ladrillo tradicional de arcilla que es de \$817 pesos, y que es muy inferior a un ladrillo farol de 9 huecos que en promedio tiene un precio de \$5.000, o un bloque de concreto que tiene un precio promedio de \$14.000; además, el precio en el mercado internacional un ladrillo de plástico reciclado de 20x10x8cm tiene un precio promedio de \$3.700, de acuerdo a los valores de la página web mercado libre.

El cálculo del precio de los ladrillos PET, de acuerdo a los encuestados, se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Estadística descriptiva de los valores que pagarían por un ladrillo de plástico reciclado.

Li	Ls	Fi	Xi	Fi*Xi
150	862,5	15	506,25	7593,75
862,5	1575	1	1218,75	1218,75
1575	2287,5	2	1931,25	3862,5
2287,5	3000	1	2643,75	2643,75
		19		15318,75

Fuente. Propia del estudio.

Al calcular la media aritmética, se obtiene el siguiente valor:

$$\underline{\text{Media} = 806,25}$$

6.2. Aspectos socioeconómicos.

La fabricación de los ladrillos ecológicos PET requieren de plástico y cartón, por esta razón, los proveedores de estas materias primas deben estar en la ciudad. La ciudad de Popayán se caracteriza fundamentalmente por tener empresas de servicios y las actividades industriales son escasas. Es una ciudad cuya población depende en su mayoría de los ingresos de las empresas estatales y muy poco de la industria. Sumado a esto, la tasa de desempleo se disparó hasta 29,7%, producto de la pandemia COVID 19, de un 13.4%, en 2019; así mismo, la tasa de ocupación descendió de un 57.7% a un 34.9%, según datos de la Cámara de Comercio del Cauca (Camara de Comercio del Cauca, 2021)

A pesar de las dificultades, el sector inmobiliario y de la construcción en la ciudad de Popayán tiene un buen dinamismo como lo indica el hecho que entre 2019 y 2020 se emitieron 1.033 licencias de construcción, 609, (59%), en la zona urbana y 424, (41%), en la zona rural; de estas 388 licencias correspondieron a obras totalmente nuevas (63.71 %); las licencias de demoliciones

corresponden a 87, es decir, 14,29% del total; la destinación de estas construcciones es principalmente la vivienda (63,05%), sin información (26,11%) y con propósitos comerciales (8,05%); y para establecimientos educativos 5, (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2021).

Además, desde diferentes sectores de la sociedad se promueve un sector de la construcción que sea eco sustentable y por eso se promueve el reciclaje, particularmente de plástico y cartón, logrando un doble propósito: limpiar el medio ambiente y dar empleo en la ciudad. En este sentido, es importante mencionar la existencia de la Asociación de Recolectores de Materiales Reciclables de Popayán (Aremarpo), empresa dedicada a la actividad económica el reciclaje con el objetivo de desarrollar un modelo económico de trabajo alternativo y generador masivo de empleo en la ciudad de Popayán, particularmente para aquellas personas de estratos vulnerables. Los recicladores, son los actores principales en esta entidad sin ánimo de lucro, que le apuesta a la economía circular, al reciclaje, la reutilización y el desarrollo sustentable; entre los materiales de reciclaje contemplados por esta empresa está el plástico y el cartón los cuales recolecta, procesa y comercializa (Becerra-Campo, 2020).

La bioeconomía circular tiene como meta conservar los recursos biológicos a través de la generación de proyectos innovadores que sean viables dentro de la economía sustentable, que implica no sólo la promoción de la inclusión social, la sostenibilidad económica y ambiental, sino también la reutilización de las masas de desecho a través de procesos innovadores; Colombia está obligada a entrar en este tipo de filosofía productiva puesto que es uno de los países más diversos del mundo y por tanto, proteger este patrimonio es fundamental, siendo un punto de partida el reciclaje, que puede nutrirse de los 4,64 millones de toneladas de residuos sólidos aprovechables al año generadas en el país, pero del que en la actualidad se aprovecha tan sólo el 17% (Muñoz & Rojas, 2022).

Esta situación es similar en Popayán, donde el manejo de los residuos sólidos se ha convertido en un problema fundamental a medida que ha crecido la ciudad y su población y porque no existe una cultura del reciclaje; en la actualidad se generan 86,51 toneladas al año de residuos sólidos y se prevé que para 2028 se tendrán 97.62 toneladas anuales; de estos, un 11,6% son plásticos y 11,2% son cartón; de manera que, si estas tendencias se mantienen hacia 2028 se tendrán aproximadamente 12 toneladas anuales de plásticos y 11 de cartón (Alcaldía de Popayán, 2016).

En consecuencia, los beneficios socioeconómicos y ambientales derivados de emprendimientos que busquen innovar y a la vez la sustentabilidad, es decir, que le apuesten al ciclo económico sustentable, son deseables y los ladrillos ecológicos basados en PET y cartón, propuestos aquí son una gran alternativa.

7. COMPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LADRILLOS TRADICIONALES Y LADRILLOS PET

Para la elaboración de los ladrillos que hacen las edificaciones fuertes, existe en Popayán la industria artesanal de los ladrillos de arcilla tradicional, materia prima importante, extraída principalmente en la vereda “Pueblillo”. Existe una gran variedad de arcillas que pueden aprovecharse en la industria de la alfarería, buscando la minimización de los impactos ambientales, particularmente las emisiones de monóxido de carbono a la atmósfera puesto que se utiliza la leña como combustible causando además impacto negativo sobre el entorno boscoso; en las ladrilleras que existen en este sector desde hace muchísimo tiempo, se han fabricado ladrillos y tejas para nutrir la construcción de la ciudad, siendo un ejemplo de la minería a pequeña escala de forma artesanal y por tanto, ilegal, ya que en Colombia solamente existen 31,1% de las 2.316 unidades productoras mineras que poseen título minero, en tanto que en el Cauca, operan 197 arcilleras, gran parte de ellas de forma ilegal; esto implica que se hagan los procesos sin caracterizar las arcilla ni tomar medidas de mitigación de los impactos ambientales negativos (Astaiza & Llanos, 2019).

La arcilla se extrae mediante pozos situados por debajo del nivel freático o mediante bancos, que son excavaciones a cielo abierto ejecutadas en los terrenos arcillosos de las colinas alrededor de la vereda “Pueblillo”, siendo este el primer paso de la cadena de producción artesanal; la materia prima se transporta en los medios disponibles, desde animales de tiro, carretas o volquetas. Una vez la materia prima está en el sitio de trabajo, se debe adecuar la arcilla para que adquiera la plasticidad necesaria para poderla moldear y esto se logra mediante tres fases: primero la pre mezcla, en la que se hace una mezcla de arcilla, arena y agua; la segunda, se conoce como trituración, en la cual se vuelve la mezcla homogénea y se trituran los componentes; y la tercera, acarreo y maduración, en esta parte se cubre con plásticos la mezcla homogénea para que conserve su calidad. Luego se tiene la base de moldeo de los adobes que puede hacerse de forma manual, utilizando hormas de metal o madera de dimensión $20 \times 12 \times 8$, y que lleva a una producción de alrededor de 2.000 ladrillos diarios, o utilizando una cortadora mecánica que produce 2.000 ladrillos cada tres horas. Sigue la etapa de secado que permite que en ladrillo pierda de 80 a 90% del agua. Finalmente viene la etapa de horneado, donde se cocinan los ladrillos aproximadamente $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la en hornos tipo pampa, hechos de arcilla y ladrillo, con capacidades de hasta 30.000

piezas cerámicas. Después de apagado el horno, se deja reposar en ladrillos por 8 a 10 horas finalmente se descarga y se almacena para llevarlos al sitio de distribución (Astaiza & Llanos, 2019).

A mayor escala, los ladrillos de arcilla comienzan con la explotación de la arcilla mediante la técnica de bancos mediante cuchillas mecánicas y camiones que la llevan a la fábrica, donde se deja secar, luego se le agrega agua para convertirla en lodo duro, el cual se coloca en un molde que genera tiras largas que van a ser cortadas mediante alambres. Ver figura 7.

Figura 7. Cortado de la arcilla



Fuente. Taus-Bolstad (2003),p.13.

En los hornos calientes, se secan los ladrillos, luego se transportan hasta los hornos de alta temperatura donde se cocinan para darles resistencia; de allí salen y se enfrían, para luego ser clasificados por los operarios. Ver figura 8. Finalmente, los ladrillos se cargan y se distribuyen a los centros de venta.

Figura 8. Enfriado y clasificación de los ladrillos de cerámica



Fuente. Taus-Bolstad (2003),p.19

Con referencia al proceso de los ladrillos ecológicos PET el primer paso consiste en la recolección del material que es, en nuestro caso, PET y residuos reciclables de cartón; la proporción fijada en para el ladrillo ecológico es de 80% de cartón y 20% de plástico. Este proceso de recolección de materias primas es relativamente simple y puede consistir en colocar canecas en sitios estratégicos o adquirir las cantidades requeridas en las asociaciones de recicladores, como Aremarpo, Asocampo o Recimpayan.

Posteriormente, se almacenan los materiales en la planta y se procede a picar el cartón que se deposita en agua. Ver figura 9.

Figura 9. Picado y mezclado de cartón



Fuente. Propia del estudio.

Al papel remojado, se le agregan los pedazos picados de PET, se mezcla y se tritura todo junto y se lleva a las hormas metálicas, donde se comprime, generando un ladrillo compacto y resistente. Ver figura 10.

Figura 10. Ladrillo PET prototipo



Fuente. Propia del estudio.

Se puede decir que a nivel artesanal es mucho más sencillo fabricar ladrillos PET, los impactos ambientales son positivos, en la medida en que se utiliza como fuente de energía para el secado algún dispositivo con gas propano.

Dentro de las pruebas que se realizaron al prototipo, aunque de forma empírica, se tiene su resistencia a la combustión, la cual se verificó calentando el ladrillo durante un espacio aproximado de 5 minutos con un soplete de soldadura autógena, encontrándose que no sufrió daño apreciable porque no hubo un proceso de combustión.

En cuanto a la prueba de resistencia, se hizo pasar sobre el ladrillo una camioneta Kia, cuyo peso es de 3.24 toneladas, encontrándose que el ladrillo no sufrió daño alguno ni deformación en ninguna de sus dimensiones; el prototipo tiene por tanto una resistencia a la presión de 11.57 kilogramos por cm^2 lo que lo hace idóneo para muros que soportan cargas moderadas.

8. PROPUESTA LOGÍSTICA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLOS DE PET Y CARTÓN

Se trata de migrar el proceso piloto artesanal de la fabricación de los ladrillos de papel y cartón, a un proceso de producción industrial, que permita obtener volúmenes de aproximadamente 1.500 ladrillos por día, a plena capacidad, en un futuro a largo plazo.

Desde la mirada de la Ingeniería Industrial y en particular de la logística, se tienen que determinar los procesos necesarios involucrados en la fabricación de los ladrillos de PET y cartón, lo que lleva al diagrama de procesos, donde se destacan las acciones más importantes de la fabricación.

El primer paso es el apesamiento de cartón reciclado y el plástico PET reciclado; el cartón debe estar colocado en pedazos de manera que se pueda remojar con eficiencia; el plástico debe picarse o triturarse de forma muy fina de manera que, al mezclarse con el cartón humedecido, haya una buena compactación, con la ayuda del almidón de yuca, que se añade en el proceso de aglutinamiento.

Continúa el proceso de mezclado, mediante un trompo, de modo que se adhieren el cartón y el plástico PET, formándose una mezcla homogénea, la cual se comprime en una prensa.

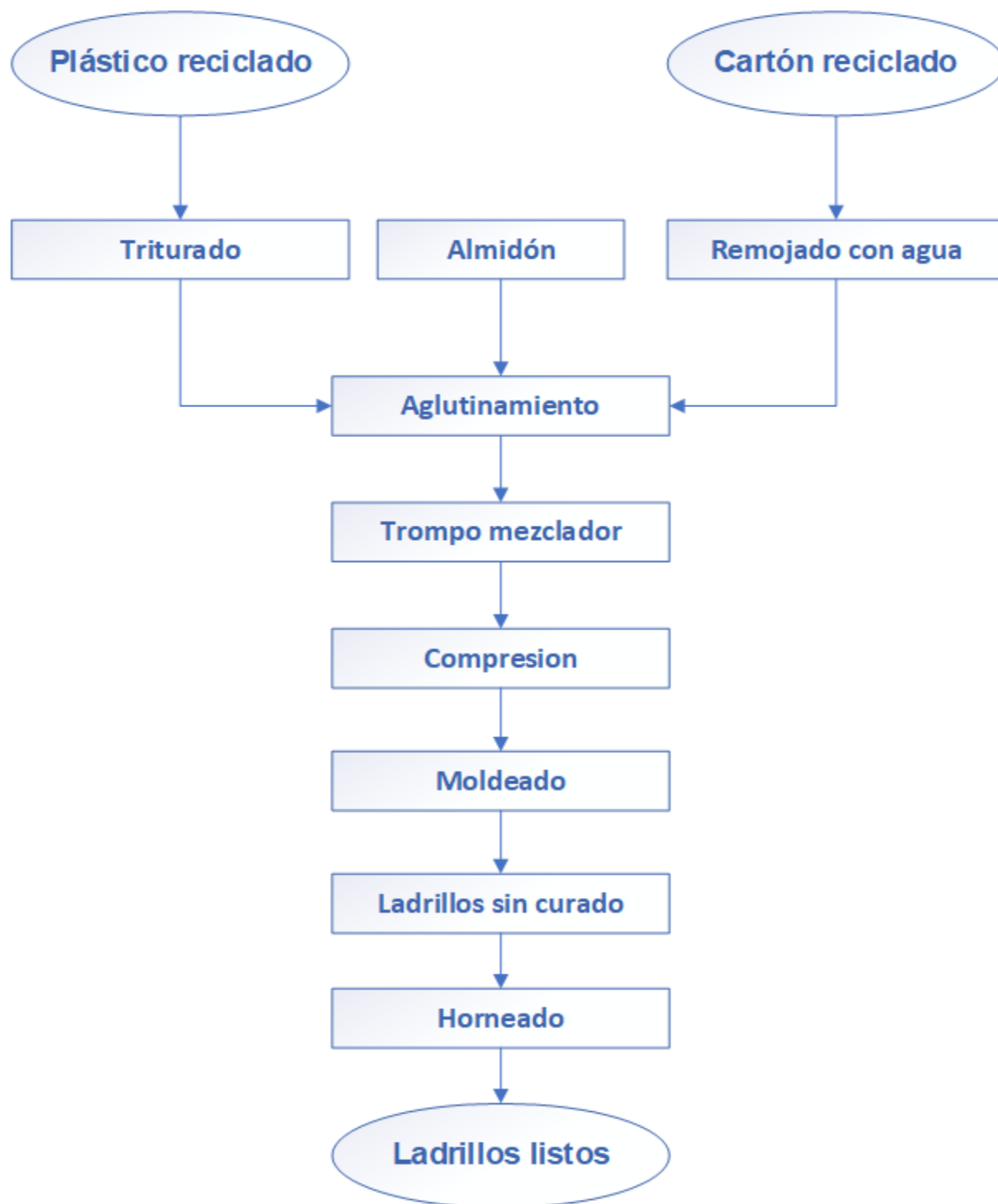
Una vez se ha hecho el proceso de comprensión, se procede al moldeado, utilizando moldes metálicos.

Posteriormente, se tienen los ladrillos sin curar, los cuales, después de un tiempo, se llevan al horno, para secarlos; entonces, se tienen los ladrillos listos, que pueden ser almacenados y distribuidos.

Normalmente, los ladrillos empleados tienen dimensiones de 20 cm de largo, 10 cm de ancho y 5 cm de alto, y en el caso del ladrillo prototipo realizado, con dimensiones de 20*14*9, se emplearon 224 g de cartón y 56 g de PET.

En la figura 11 se exponen los pasos que se siguen, en líneas generales, para la fabricación de los ladrillos de PET y cartón propuestos.

Figura 11. Diagrama de procesos para los ladrillos PET



Fuente. Propia del estudio.

De igual forma, para fabricar un ladrillo estándar de las dimensiones 20 *15* 10, se requiere aproximadamente de 334 g de cartón y 66.8 g de PET, ver figura 12.

Figura 12. Cantidad de material por ladrillo PET

Ítem	Valor	Unidad
Densidad promedio del carton	0,09	g/cm3
Densidad promedio de PET	1,38	g/cm3
Volumen	3000	cm3
Masa total	334	g
Masa de PET	66,8	g
Masa de carton	267,2	g
Razón	4	No tiene

Fuente. Propia del estudio.

Entonces, para 1500 ladrillos de estas dimensiones se requieren 100 kg de PET y 401 kg de cartón, es decir, la razón de cartón a PET es de 4 a 1, de modo que, bajo esta perspectiva, una producción de 150 mil ladrillos requiere de 10 toneladas de PET y de 40 toneladas de cartón, lo que implica que el cartón es un recurso escaso y por tanto su disponibilidad es una limitante para la producción, a menos que se consigan proveedores estables de esta materia prima.

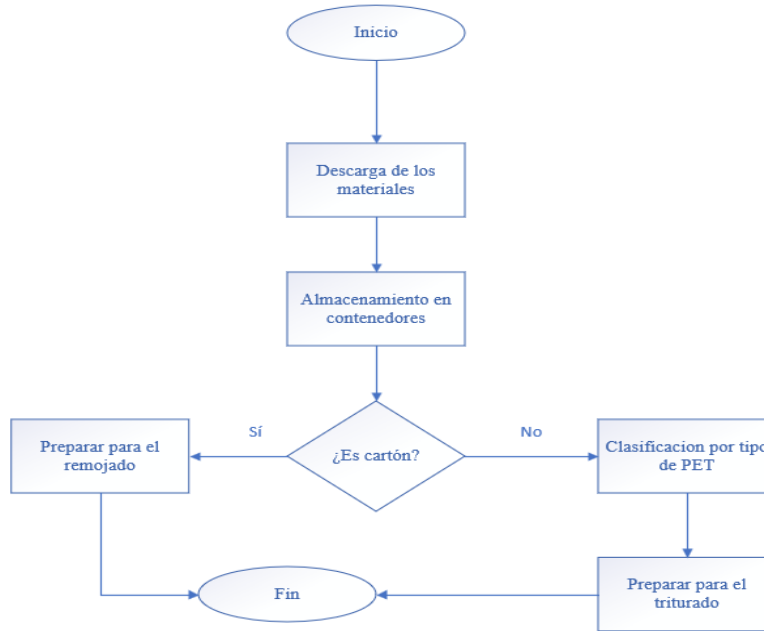
En primer término, se tiene el proceso del manejo de los residuos plásticos y de cartón seleccionados, adquiridos de los recicladores de PET y cartón.

Una vez se han adquirido, se descargan y se almacenan en el sitio definido para ello en la empresa, en contenedores específicos. se selecciona el tipo de PET y los cartones; luego se alista el PET para el triturado y los cartones para el remojado.

El proceso de remojado permite impregnarlo de humedad para que se vuelva una masa manejable a la que se puede añadir pegamento como el almidón e incorporarle trozos pequeños de plástico, para formar una masa lo más homogénea posible, en una proporción de 4:1, que se determinó con base en las resistencias a la compresión que se encontraron en la literatura.

Debe tenerse en cuenta que, en este proyecto, el prototipo se realizó utilizando bolsas plásticas, las cuales se picaron manualmente y que el cartón utilizado provino de cajas y de papel de tamaño oficio y carta. Ver figura 13.

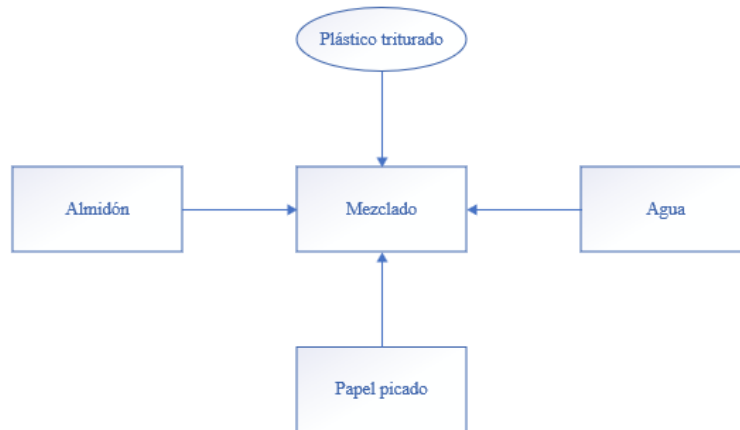
Figura 13. Proceso de alistamiento del material



Fuente. Propia del estudio.

En cuanto se tienen los materiales, se procede al proceso de mezclado del almidón, el papel picado, el plástico triturado y agua, con lo cual se tiene una mezcla homogénea de la que se fabrican los ladrillos PET. Ver figura 14.

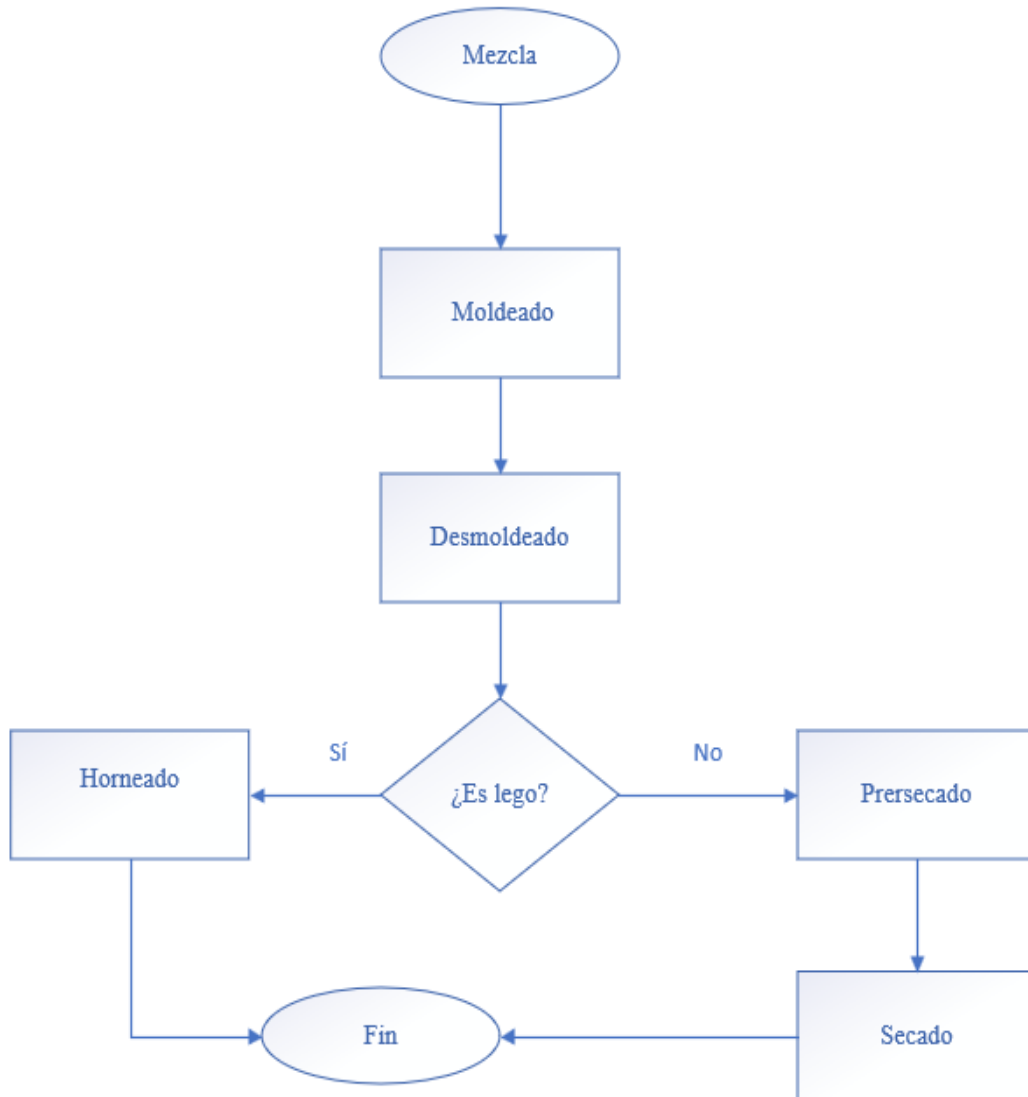
Figura 14. Mezclado



Fuente. Propia del estudio.

Luego, se procede al proceso de compresión y modelado de los ladrillos PET, existiendo la posibilidad de hacer ladrillos con diseños planos para utilizarlos de forma semejante al ladrillo de arcilla tradicional o con diseño tipo lego. Ver figura 15.

Figura 15. Moldeado y secado de los ladrillos PET



Fuente. Propia del estudio.

En cuanto a lo que se relaciona con la maquinaria a utilizar en la fabricación de los ladrillos de PET y cartón, la primera máquina que se debe adquirir es la trituradora con capacidad para 240 kg, como la mostrada en la figura 16.

Figura 16. Trituradora de PET



Fuente. www.mercadolibre.com.co

Una parte muy importante del proceso de fabricación es la del prensado y moldeado, para lo cual puede utilizarse un diseño tradicional del ladrillo PET o un diseño tipo lego. La moldeadora se muestra en la figura 17.

Figura 17. Moldeadora (compresora) de ladrillos PET



Fuente. Propia del estudio.

El trompo de mezclado, en el que se prepara la mezcla de cartón, almidón y PET, con una humedad del 20%, se muestra en la figura 18.

Figura 18. Trompo mezclador



Fuente. www.mercadolibre.com.co

Una cinta transportadora se requiere para transportar los ladrillos que salen del horno hasta el almacén donde se van almacenar para su posterior distribución, con el fin de realizar la inspección final. Ver figura 19.

Figura 19. Cinta transportadora



Fuente. www.mercadolibre.com.co

En la zona de carga y descarga es fundamental poseer un apilador y cargador que permite manejar los volúmenes de materias primas, así como los productos terminados que van a subirse a los medios de transporte para su distribución o traslado al sitio del usuario. Ver figura 20.

Figura 20. Montacargas apilador



Fuente. www.mercadolibre.com.co

De igual forma, los ladrillos PET deben ser secados mediante un horno que suministre la temperatura adecuada de entre 160 y 180 °C, como el mostrado en la figura 21.

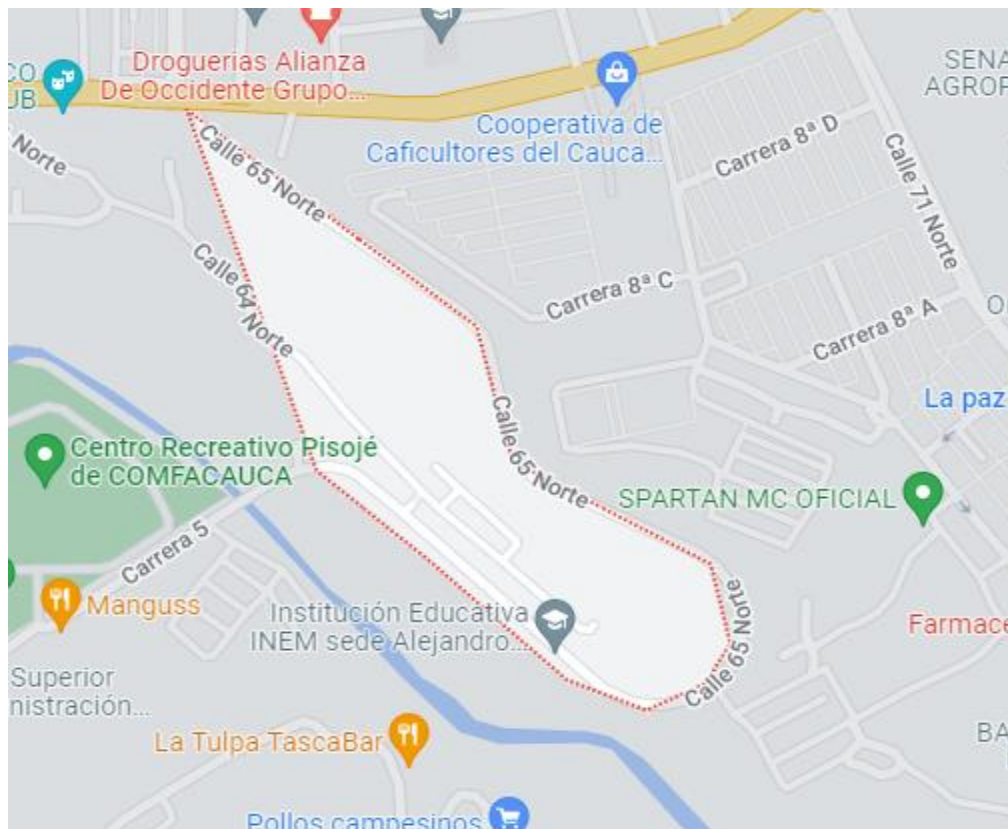
Figura 21. Horno para secado



Fuente. www.mercadolibre.com.co

En cuanto a la macro localización para instalar el proceso productivo se decidió instalarlo en el barrio o vereda “González” de Popayán, por estar situado en un sitio de baja densidad poblacional, en un entronque al norte de la ciudad donde es posible estar con facilidad en las zonas de expansión urbana de la ciudad o moverse hacia el sector tradicional; por otra parte, los servicios públicos son menos costosos en esta zona y existe un adecuado flujo vehicular, pero sin ser excesivo, lo que facilita la movilización de carga. La micro localización está dada en la Calle 65N #15 N 39, Barrio González. Ver figura 22.

Figura 22. Localización de la planta



Fuente. Googlemaps

Para la localización de la planta se necesitaba un espacio semiurbano que tuviera un aula mínima de 100 m²; en la localización seleccionada se encontró un espacio de 150 m² al borde de la vía en los límites del Barrio Gonzáles con Villa del Viento, de modo que, se pueden expandir las operaciones en el futuro. Las zonas de la planta y sus áreas respectivas se muestran en la tabla 7.

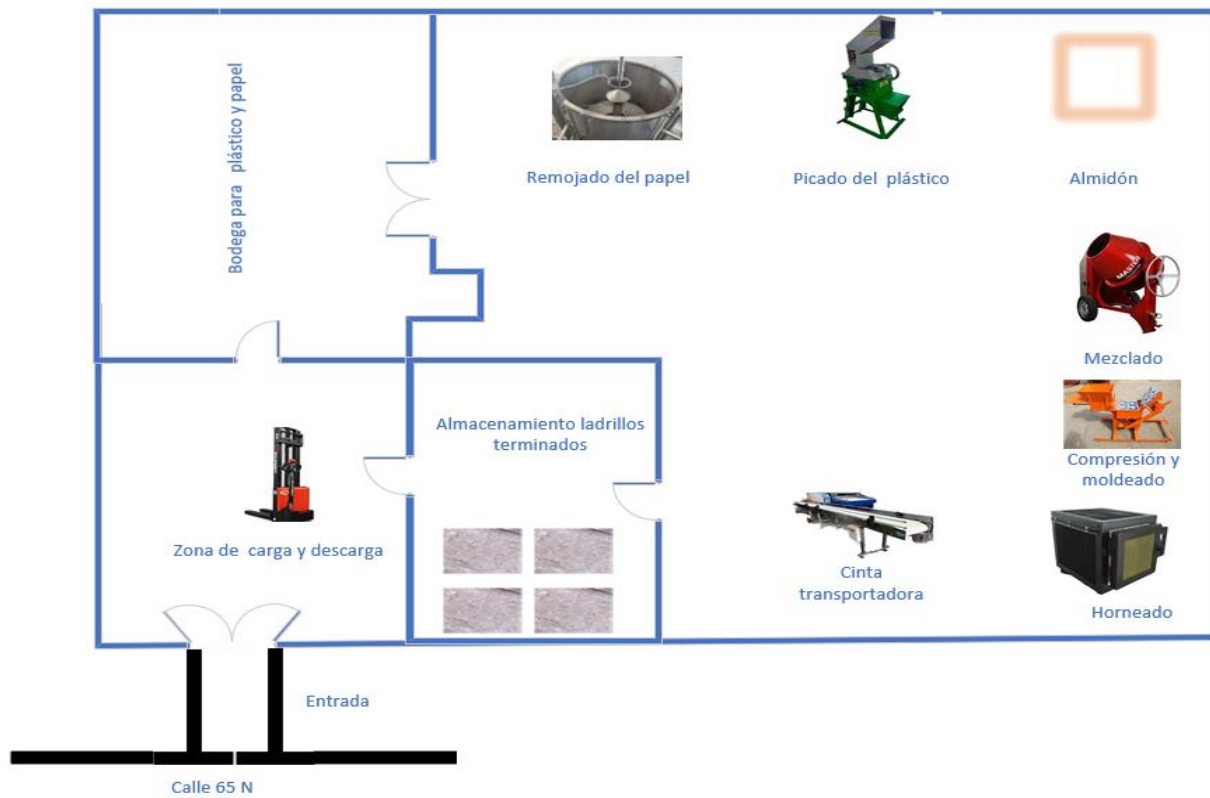
Tabla 7. Zonas de la planta y su área

Zona de la planta	Área (m2)
Descarga y carga	15
Almacenamiento materias primas	20
Trituración	6
Remojado	7
Mezclado	6
Moldeado y compresión	7
Secado	7
Almacenamiento ladrillos terminados	15
Servicios higiénicos	7
Marketing	10
Área total	100

Fuente. Elaboración propia.

La distribución en planta se puede ver en la figura 23.

Figura 23. Distribución en planta



Fuente. Elaboración propia.

En cuanto a los costos de las maquinarias que se utilizan en la producción, las inversiones fijas se estiman en \$62.900.000 COP, siendo la parte más costosa la compresora moldeadora, por ser la parte más versátil que permite la construcción de diferentes modelos de ladrillo PET. Ver tabla 8.

Tabla 8. Costos de la maquinaria

Ítem	Precio (COP)
Cinta transportadora	\$ 9.900.000
Cargadora	\$ 5.200.000
Trituradora	\$ 15.000.000
Trompo mezclador	\$ 6.800.000
Horno de secado	\$ 4.000.000
Compresora moldeadora	\$ 22.000.000
Costo total	\$ 62.900.000

Fuente. Elaboración propia

Los costos operativos mensuales del proyecto se calculan teniendo como base una producción diaria de 1.500 ladrillos PET a cargo de dos operarios y con una cantidad de materiales específica que se va a transportar a la planta, al igual que unos costos indirectos específicos. Ver tabla 9.

Tabla 9. Costos operativos mensuales

Costos operativos	Precio (COP)
Operarios	\$ 2.000.000
CIF	\$ 1.850.000
Alquiler del local	\$ 600.000
Servicios públicos	\$ 250.000
Transporte de los materiales	\$ 1.000.000
Total, costos operativos mensuales	\$ 5.700.000

Fuente. Elaboración propia

Con referencia al valor de las materias primas, con base en los precios comerciales imperantes en el mercado local, se calculan los precios para una producción de 1.500 ladrillos diarios; un kilogramo de almidón vale \$5.000 y se necesitan 160 kg en esta tanda de producción; de igual manera, un kilogramo de PET vale \$1.200 y se necesitan 66.8 g por ladrillo; el cartón tiene un precio promedio de \$270 por kilogramo y se requieren 334 g. Esto sirve para calcular el recio por ladrillo, con una tasa de interés de oportunidad de 25% y una inflación de 11%. Los costos de materia prima y el precio por ladrillo se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Costos de materia prima

Costos materia Prima	Precio (COP)
Almidón para 1.500 ladrillos PET (160kg)	\$ 800.000
Plástico para 1.500 ladrillos PET	\$ 120.240
Papel o cartón para 1.500 ladrillos PET	\$ 135.270
Total, materia prima por 1.500 ladrillos PET	\$ 1.055.510
Precio por ladrillo	\$ 704
TIO	25%
Inflación	11%
Precio venta unitario	\$ 978

Fuente. Elaboración propia

En la ciudad de Popayán existen diversos proyectos de vivienda de interés social que se pueden proyectar con criterios arquitectónicos diferentes a los estatales, para hacer de las casas verdaderos hábitats para seres humanos, evitando los problemas de hacinamiento que se tienen en los sectores con bajos ingresos económicos, y con la acción comunitaria. Soportar autoconstrucciones con ladrillos PET, que, a un precio muy económico, \$978 por unidad más el flete, puedan desarrollar proyectos de vivienda de interés social, con bajos impactos ambientales negativos, resistentes a la humedad, al fuego, y de gran duración.

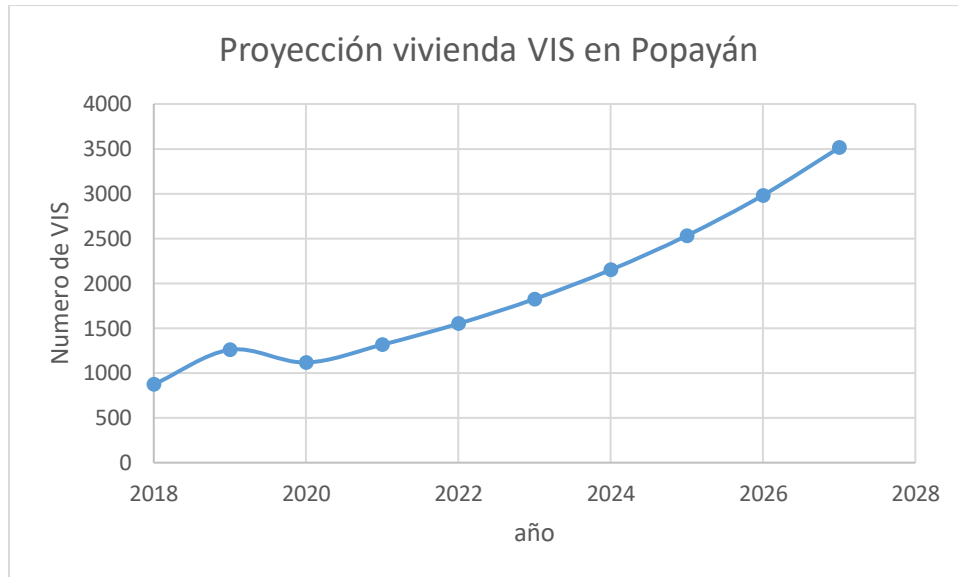
Así, al analizar el sector de construcción de la vivienda de interés en la ciudad, se tienen que consignar que, de acuerdo a los resultados del último censo de 2018, en Popayán se tiene déficit cuantitativo en cuanto a la vivienda en 10.52% de los hogares, y déficit habitacional en 23.1%, lo que indica que no existen condiciones adecuadas en las viviendas; a nivel del municipio este déficit llega al 30.97%. La oferta de vivienda incluye 862 de interés social que ocupan un área de 56.103m², 101 de interés prioritario y 961 no VIS; en 2.019 empezaron a construirse 1.259 nuevas viviendas VIS en un incremento de 31.5% respecto a 2.018, lo que indica una tendencia creciente de este tipo de vivienda, que refleja lo que se da a nivel municipal porque en 2.020 de los 53.192 m² en construcción, 26.230 son de vivienda de interés social (Cardona, 2021).

Con base en los datos estadísticos se puede hacer una proyección de la demanda de vivienda de interés social en Popayán, que permite establecer los ingresos del proyecto y determinar si existe una factibilidad económica, ya que, desde el punto de vista social, lo es al poder beneficiar a personas de estratos vulnerables.

Desde el contexto, el promedio de área construida de las viviendas VIS es de 60 m², con posibilidades de expansión a dos plantas, en proyectos donde se buscan soluciones de hábitat eco sustentables, con materiales mixtos y lozas aligeradas con concreto, con 3 habitaciones, normalmente de 9 m², de modo que por vivienda es posible utilizar 2.000 ladrillos PET.

Con los datos del DANE es posible establecer la proyección de vivienda VIS en Popayán, mediante la fórmula del valor futuro, teniendo en cuenta los datos conocidos, de manera que es posible calcular el crecimiento para los años futuros, teniendo en cuenta que se participa en un principio con 20% del mercado, y con un crecimiento del 5% en los siguientes años, a precios constantes. La proyección de vivienda VIS se muestra en la figura 24.

Figura 24. Modelo proyección vivienda VIS



Fuente. Elaboración propia

La demanda para el periodo 2022-2026, se proyecta teniendo en cuenta que por cada vivienda VIS, estándar, y con los criterios eco sustentables, las características particulares de los ladrillos PET, que se van a utilizar fundamentalmente en muros divisorios, y en la configuración lego, o con la forma tradicional, que requiere muros de soga y trabados, es de 2.000 ladrillos PET por vivienda de una sola planta, así como sus costos, de fabricación a precios constantes, y a un precio de venta con ajuste de 5% anual, se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Flujos de caja

Año	Vivienda VIS	Ladrillos PET al año	Precio de fabricación	Valor unitario	Ingresos (\$)
2022	1550	0	-\$ 62.900.000	\$ 978	
2023	1825	730000	\$ 513.681.533	\$ 1.027	\$ 749.718.198
2024	2150	1075000	\$ 756.448.833	\$ 1.130	\$ 1.214.440.779
2025	2532	1519200	\$ 1.069.020.528	\$ 1.299	\$ 1.973.697.858
2026	2982	2087400	\$ 1.468.847.716	\$ 1.559	\$ 3.254.262.961
2027	3512	2809600	\$ 1.977.040.597	\$ 1.949	\$ 5.475.218.702

Fuente. Elaboración propia

La viabilidad financiera del proyecto, con base en las anteriores proyecciones, y los flujos netos, se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Indicadores financieros

Año	Flujos netos
0	-\$ 62.900.000
1 \$	236.036.665
2 \$	457.991.946
3 \$	904.677.330
4 \$	1.785.415.245
5 \$	3.498.178.104
VPN (25%)	\$ 2.885.628.055
TIR	469%
Relación BC	2

Fuente. Elaboración propia

Estos indicadores, son una primera aproximación porque en estos cálculos no se han incluido financiaciones ni intereses de préstamos, pero permiten establecer que el proyecto es viable porque hoy vale, a la TIO de 25%, \$ 2.885.628.055, siendo su rentabilidad muy alta, como expectativa de un inversionista y su relación beneficio costo indica que por cada peso invertido en el proyecto se obtienen dos pesos de ganancia.

Por otra parte, el proyecto tiene un impacto social positivo puesto que al ser el precio por ladrillo PET económico, permite que haya una alta probabilidad de ser utilizado en los proyectos de vivienda VIS urbanos, o en proyectos de vivienda rurales donde, junto con estrategias con guadua y madera, busquen eco sustentabilidad. Más aun, es posible que en los entornos rurales las casas de ladrillos de PET y cartón sean una solución popular.

Por otro lado, como parte del proceso industrial, se tiene que fortalecer el marketing, a través de una presencia corporativa, lo que implica un logo y un lema. La empresa se denomina *Ecobricks Pubenza* y su lema es “*Construye responsablemente: protege la naturaleza con Ecobricks Pubenza*”. Ver figura 25.

Figura 25. Logo y lema empresarial



Fuente. Elaboración propia

9. CONCLUSIONES

Se demuestra que la fabricación de ladrillos con base en PET y cartón es viable desde la logística industrial puesto que se analiza el suministro, el almacenamiento, el transporte y el mismo proceso de producción industrial de ladrillos eco sustentables, dirigidos principalmente a los proyectos de construcción de vivienda de interés social en la ciudad de Popayán.

El análisis de mercado, oferta, demanda y de carácter financiero, demuestra que la producción de ladrillos a base de PET y cartón en la ciudad de Popayán tiene un mercado potencial en expansión, que se puede enfocar a la vivienda de interés social, donde existe una demanda creciente de materiales de construcción, existiendo una poca oferta de ladrillos PET, que se puede constituir en un producto para este nicho de mercado con una tasa de interés de retorno muy alta (469%) sin financiamiento; un valor presente neto (VPN), con una tasa interna de oportunidad del 25% de \$ 2.885.628.055; una relación beneficio costo de 2 pesos por cada peso invertido en el proyecto.

Desde el punto de vista social, el precio de los ladrillos PET desarrollados aquí es muy bajo \$978 comparado con los precios actuales de las alternativas eco sustentables como ladrillos de PET y concreto, ladrillos de PET y cenizas, ladrillos plásticos con piedra caliza, ladrillos de arcilla tradicionales, e inclusive con opciones innovadoras como son la utilización de la guadua, madera con revestimiento de concreto, en proyectos de interés social, lo cual es concordante con las necesidades prioritarias de ciertos sectores situados en la base de la pirámide de Popayán, donde existe la necesidad de reubicación de personas en zonas de invasiones cercanas a fuentes de agua.

De igual manera en el estudio se realizaron los respectivos estudios técnicos, ambientales y socioeconómicos relacionados con la construcción de viviendas en Popayán, encontrándose la posibilidad de tener materiales reciclables para el proyecto, de minimizar impactos ambientales causados por la producción de ladrillos tradicionales en la zona de pueblillo y la viabilidad económica del proyecto.

Así mismo, se realizó una comparación entre el proceso de fabricación artesanal realizado en la ciudad de Popayán para la fabricación de los ladrillos de arcilla tradicionales, la fabricación de un prototipo de ladrillo de PET cartón y los respectivos procesos industriales, considerando los costos

en las maquinarias, los diseños de planta, los costos de la materia prima y las proyecciones de ventas.

En cuanto a la propuesta logística se propuso una macro y micro localización de la planta, las áreas respectivas de cada una de las áreas de la cadena por productiva, se describieron los diagramas de flujo del proceso de fabricación, se estimaron los costos, se diseñó la planta y se enfatizó en la parte del marketing para la venta de los ladrillos PET y cartón, llamando la empresa de productos productora Ecobricks Pubenza, con la misión de servir a la sociedad, de contribuir a la migración de la ciudad hacia la ciudad inteligente del futuro, utilizando una cadena de producción eco sustentable , la protección del medio ambiente en la mente, en función de la responsabilidad social empresarial de toda organización en el mundo actual.

Se puede afirmar que de acuerdo a los resultados encontrados en este trabajo, los eco ladrillos cartón propuestos son más baratos que sus contrapartes que se encuentran en las experiencias descritas en la literatura, y gozan de iguales o superiores características, destacándose su resistencia la combustión, su resistencia a la humedad, a la presión, o a la deformación y su buen nivel de resistencia la carga, además de poderse producir en ladrillos las con el tamaño estándar tradicional o en una variedad de tamaños con la tecnología de lego.

10. BIBLIOGRAFÍA O REFERENCIA

- Aguilar-Rangel, C., & Segovia- Defaz, S. P. (2021). *Estudio De Factibilidad Para La Comercialización De Ladrillos Ecológicos En La Ciudad De Manta* (p. 102). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Aguirre, J., & Ubillus, K. del C. (2020). *Diseño e implementación de una planta piloto automatizada de trituración de plástico de polietileno de baja densidad para la generación de materia prima de ladrillos ecológicos*. Universidad Tecnológica del Perú.
- Alcaldía de Popayán. (2016). Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) Popayán, Cauca, 2016-2027. *Informe*, 358–388. http://popayan.gov.co/sites/default/files/documentosAnexos/pgirs_popayan_2016.pdf
- Asocar. (2021). *Ecobotella*. <https://www.asocars.org/popayan-ya-cuenta-con-puntos-de-acopio-para-las-ecobotellas/>
- Astaiza, E. A., & Llanos, D. A. (2019). *Diagnóstico de la unidad ladrillera y caracterización del tipo de arcillas empleadas en la vereda de pueblo libio, Popayán, Cauca, en búsqueda de alternativas de producción para minimizar los impactos ambientales* [Corporación universitaria autónoma del Cauca]. http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865607390&partnerID=tZOtx3y1%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2LIMMD9FVXkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Principles+of+Digital+Image+Processing+fundamental+techniques&ots=HjrHeuS_
- Becerra-Campo, J. A. (2020). *Análisis de Procesos Administrativos y Contables Implícitos en la Producción de AREMARPO, a Partir del Uso de Residuos Sólidos de Plástico, en el Municipio de Popayán, Cauca, 2019-I*. Corporación Autónoma Universitaria del Cauca.
- Blanco, D., Castro, Y., Claro, M., Altomar, T., & Olmos, L. (2018). *Elaboración de bloques con materiales PET una solución práctica para la construcción en la Guajira* (pp. 75–87). SENA.
- Cabo-Laguna, M. (2011). *Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción* [Universidad Politécnica de Navarra]. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1819.2010.02138.x>

- Camara de Comercio del Cauca. (2019). *Boletín Mensual Información Socioeconómica* (Issue 11). https://www.cccauca.org.co/sites/default/files/imagenes/11._indice_de_valoracion_predial.pdf
- Camara de Comercio del Cauca. (2021). *Boletín Información Socioeconómica* (Issue 3, p. 2). Camara de Comercio del Cauca. https://www.cccauca.org.co/sites/default/files/imagenes/boletin_6._mecado_laboral_popayana_mar-may_2011-2020_1.pdf
- Cardona, G. A. (2021). *Análisis de la competitividad del sector de la construcción de vivienda de interés social en el municipio de Popayán periodo 2018-2022*. Universidad del Valle.
- Carrasco, C. E., & Morales, Y. A. (2021). *Diseño de una planta de ladrillos ecológicos en base a cal y arena para reducir los costos en la construcción de viviendas de interés social* (pp. 1–60). http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf
- Castro, M. A. A. B., García, M. L. S., & Adame, M. E. C. (2015). Hacia una comprensión de los conceptos de emprendedores y empresarios. *Suma de Negocios*, 6(13), 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2015.08.009>
- Delgado, D. A., Vidal, J., & Fernández, A. L. (2021). Social innovation in rural communities: experience in the use of solid waste (Cauca, Colombia). In *Ager* (Vol. 2021, Issue 31). Corporación Universitaria autónoma del Cauca. <https://doi.org/10.4422/ager.2021.03>
- Dorado, J. L., & Lopez, M. A. (2018). *Estudio de Factibilidad de una empresa para la producción y comercialización de ladrillo plástico a base de material reciclado*. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.
- Faivre-Tavignot, B. (2016). *Social Business and Base of Pyramid*. Wiley.
- Faivre, B. (2016). *Social Business and base of the pyramid*. ISTE & Wiley.
- Forrest, M. (2016). *Recycling of Polyethylene Terephthalate* (Issue 4). Smithers Rapra Technology. <https://doi.org/10.17213/1560-3644-2020-4-68-71>
- Gonzales, L. V. (2009). *investigación de mercados para identificar clientes potenciales, en la*

recuperación de excedentes del sector plástioco de cali, eje cafetero y popayan (Issue 1, p. 72). Universidad ASutonoma de Occidente. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003><https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12.018><http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2011.08.005><http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2014.902757><http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2011.08.005>

Hernandez-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodologia de la Investigacion*. McGraw Hill.

Hernández Sampieri, R., Ferández Collado, C., & Baptizta Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.

Herrera-Troncoso, F., Tamayo-Sánchez, C. A., Montero-Camacho, N., & Quintero-Baena, M. (2018). Elaboración de nuevos materiales para la construcción a partir de la celulosa del papel reciclado. *Memorias Ponencias I Encuentro de Semilleros de Investigación Para El Magdalena Medio 2018: Construyendo Ciencia Con Conciencia Para El Desarrollo Tecnológico Del Magdalena Medio Colombiano*, 1(11), 75–87. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/5038/1/Memorias_I_encuentro_semilleros_CPyA_2018.pdf#page=75

Instituto geográfico Agustín Codazzi. (2021). *Análisis inmobiliario y de actividad edificadora de la ciudad de popayán (cauca)*.

Kara, B., Sabuncuoğlu, İ., & Bidanda, B. (2015). Global Logistics Management. In *Global Logistics Management*. <https://doi.org/10.1201/b17845>

Kumal, U., Dubey, B., & Kothari, D. P. (2022). *Research Methodology; Techniques and Trends*. CRC Press. <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>

Kumar, A., Biswas, M., & Nath, D. (2020). A Study of Manufacturing Bricks Using Plastic Wastes. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 7(8), 1838–1843. [file:///C:/Users/System Manager/OneDrive/Documents/DEGREE/SEM 4/JPB49804 - FINAL YEAR PROJECT 1/JETIR2008243.pdf](file:///C:/Users/System%20Manager/OneDrive/Documents/DEGREE/SEM%204/JPB49804-FINAL%20YEAR%20PROJECT%201/JETIR2008243.pdf)

Langly, J., Novack, R., Gibson, R., & Coyle, J. (2020). *Supply Chain Managment*. Cengage.

- Martinez, A., & Cote, M. L. (2014). Diseño y fabricación de ladrillo reutilizando materiales a base de PET. *Inge Cuc*, 10(2), 76–80.
- Mohd, H., Aeslina, A. kadir, Intan, I., Mohd, R., Mohd, M., Mardi, N. A., Hassan, M. F., & Nabialek, M. (2022). Recycling of Pet Bottles Into Different Types of Building Materials: a Review. *Archives of Metallurgy and Materials*, 67(1), 189–196. <https://doi.org/10.24425/amm.2022.137488>
- Morana, J. (2018). *Logistics*. ISTE & Wiley.
- Mosquera, M. A. (2019). *Implementacion de un programa de gestion integral de residuos solidos de la Corporacion Universitaria autónoma del cauca*. Corporacion Universitaria Autonoma del Cauca.
- Muñoz, D. A., & Rojas, E. (2022). *Fortalecimiento de la cadena de valor con enfoque bio económico circular en el municipio de Popayán* [Corporación universitaria autónoma del Cauca]. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Prahalad, C. K. (2005). *The fortune at the bottom of the pyramid*. Wharton School Publishing. <https://doi.org/10.5860/choice.43-1063>
- Prahalad, C. K. (2009). The Fortune at the Bottom of the Pyramid. In *The Top 50 Sustainability Books* (5th ed.). Pearson Education. https://doi.org/10.9774/gleaf.978-1-907643-44-6_42
- Salminen, P. (2013). *Using recycled polyethylene terephthalate (PET) in the production of bottle trays*. Arcada.
- Taus-Bolstad. (2003). *From Clay To Bricks*. Lerners Publications Co.
- Tawab, A., Amin, M., Ibrahim, M., Wahab, A., & Rahman, A. (2020). Recycling Waste Plastic Bags as a Replacement for Cement in Production of Building Bricks and Concrete Blocks. *Journal of Waste Resources and Recycling*, 1(2), 202. www.annexpublishers.com
- Villafuerte, M. M. (2015). *Plan de negocios para la fabricación y comercialización de ladrillos ecológicos en Lima Metropolitana* (p. 172). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

