**ESCUELA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES**

**Tema:**

# ANÁLISIS DE COSTOS Y POTENCIAL SOSTENIBLE DE BLOQUES CON CAUCHO RECICLADO PARA MERCADOS INTERNACIONALES VERDES

**Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Licenciado en Negocios Internacionales**

**Línea de investigación:**

ADMINISTRACION EFICIENTE Y EFICAZ DE LAS ORGANIZACIONES PARA LA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE Y GLOBAL

**Autor:**

Diego Noe Villa Poago

**Director:**

Mg. Freddy Leonardo Ibarra Sandoval

**Ambato – Ecuador**

**Julio 2026**

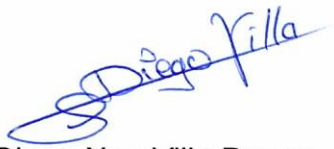
## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo: **DIEGO NOE VILLA POAGO**, con cédula de ciudadanía **1850885631**, autora del trabajo de graduación intitulado: "**ANÁLISIS DE COSTOS Y POTENCIAL SOSTENIBLE DE BLOQUES CON CAUCHO RECICLADO PARA MERCADOS INTERNACIONALES VERDES**", previa a la obtención del título profesional de **LICENDIADO EN NEGOCIOS INTERNACIONALES**, en la escuela de **CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES.**

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la Biblioteca de la PUCE Ambato, el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Ambato, Julio 2026



Diego Noe Villa Poago

CC. 1850885631

**PONTIFICA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**SEDE AMBATO**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

**Tema:**

**ANÁLISIS DE COSTOS Y POTENCIAL SOSTENIBLE DE BLOQUES CON CAUCHO RECICLADO PARA MERCADOS INTERNACIONALES VERDES**

**Líneas de Investigación:**

ADMINISTRACIÓN EFICIENTE Y EFICAZ DE LAS ORGANIZACIONES PARA LA COMPETITIVIDAD SOSTENIBLE LOCAL Y GLOBAL

**Autor:**

Diego Noe Villa Poago

Fredy Leonardo Ibarra Sandoval, Mg. f._____
1803992062
**CALIFICADOR**

Verónica Leonor Peñaloza López, PhD. f._____
**CALIFICADOR**

Valeria Zulema Rúales Acosta, Mg. f._____
**CALIFICADOR**

Verónica Leonor Peñaloza López, Ing. PhD. f._____
**DIRECTORA ESCUELA DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES**

PUCE | AMBATO
PROSECRETARÍA

Diego Gonzalo Coca Chanalata, Dr. Mg. f._____
**PROSECRETARIO PUCE AMBATO**

**Ambato – Ecuador**

**Julio 2026**

## DEDICATORIA

Le dedicó este trabajo a Dios y a mi familia.

Mi familia, personas increíbles y admirables que creyeron en mí.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco, ante todo la voluntad de Dios, al permitir formarme como profesional a través de la enseñanzas y lecciones de esta maravillosa universidad, agradezco a aquel Dios quien estuvo en mis momentos de incertidumbre y tristeza. Aquel Dios que es fuente de sabiduría y amor.

Agradezco profundamente a mis padres, su apoyo fue muy significativo en mis inicios como estudiante de esta prestigiosa universidad, en el transcurso de mi etapa como aprendiz tuve el privilegio de contar con la sabiduría, el cariño y la paciencia de mis hermanos, quienes fueron mi soporte y alivio en momentos de angustia y mi alegría en momentos de felicidad.

El pasar del tiempo me da a entender que lo más importante en la vida, es la familia. Gracias Efraín, por ser aquel hermano admirable y paciente, aquel hermano al que tengo un profundo respeto y cariño. Gracias por darme la oportunidad de vivir experiencias y adquirir conocimientos en mi estadía al ser parte de Comercial Villa's.

Me considero una persona afortunada al poder contar con mi hermana. Gracias Elena, gran parte de este logro en mi etapa como estudiante se lo debo a ti, gracias por ser esa guía en mi camino, tus palabras llenas de sabiduría y apoyo incondicional me permitieron llegar hasta aquí.

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de que llegara a mi vida aquella persona muy especial. En el poco tiempo que he compartido contigo me doy cuenta de que eres una de las personas más confiables y amorosas que he conocido. Cada gesto de apoyo y cariño fueron una fuente constante de motivación para culminar con éxito esta tesis.

Y con todo mi cariño y gratitud, gracias a todos mis compañeros por acompañarme en este importante capítulo de mi vida.

## RESUMEN

La acumulación de neumáticos fuera de uso (NFU) representa un problema ambiental creciente a nivel internacional, se estima que cada año más de 1.500 millones de neumáticos son desechados en el mundo, de los cuales menos del 30 % se recicla efectivamente, estos residuos representan una crisis ambiental global debido a su lenta degradación y riesgos para la salud pública.

Respecto al problema anterior se evidencia la necesidad de transformar este desecho en un recurso productivo, por lo cual la presente investigación busca contribuir con una alternativa ecológica dentro del sector de la construcción sostenible, se tiene como objetivo general el análisis de los costos y el potencial sostenible de bloques con caucho reciclado, mediante un estudio técnico económico, que determine su viabilidad en mercados internacionales verdes.

En la metodología se emplea un enfoque cuantitativo, utilizando un método descriptivo, comparativo y correlacional, que permite la medición de costos de producción, la sostenibilidad y aceptación del producto. Dentro de los instrumentos de análisis de datos se elaboran fichas técnicas de bloques de mampostería no estructural tipo B con caucho reciclado (CR) en proporciones del 10%, 20% y 30%.

Desde el enfoque de la economía circular, la investigación demuestra que sustituir agregados naturales por caucho reciclado supone un incremento en los costos de producción de bloques, sin embargo, demuestra una reducción del impacto ambiental. El estudio concluye que la exportación del bloque CR 20% es una solución viable y sostenible hacia mercados internacionales verdes bajo especificaciones técnicas y específicas.


**Palabras clave:** bloques ecológicos, economía circular, caucho reciclado, mercados verdes, material de construcción sostenible.

## ABSTRACT

*The accumulation of end-of-life tires (ELTs) represents a growing environmental problem internationally; it is estimated that more than 1.5 billion tires are discarded worldwide each year, of which less than 30% are effectively recycled. This waste represents a global environmental crisis due to its slow degradation and risks to public health.*

*Regarding the aforementioned problem, the need to transform this waste into a productive resource is evident. Therefore, this research seeks to contribute an ecological alternative within the sustainable construction sector. The general objective is to analyze the costs and sustainable potential of blocks made with recycled rubber, through a technical-economic study that determines their viability in international green markets.*

*The methodology employs a quantitative approach, using a descriptive, comparative, and correlational method, which allows for measuring production costs, sustainability, and product acceptance. Among the data analysis tools, technical data sheets are developed for type D masonry blocks made with recycled rubber (CR) in proportions of 10%, 20%, and 30%.*

*From a circular economy perspective, the research demonstrates that replacing natural aggregates with recycled rubber increases block production costs; however, it also demonstrates a reduction in environmental impact. The study concludes that exporting the 20% CR block is a viable and sustainable solution to green international markets under specific technical specifications.*


***Keywords:*** *eco-friendly blocks, circular economy, recycled rubber, green markets, sustainable building material.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD ..... ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO ..... iii
DEDICATORIA ..... iv
AGRADECIMIENTO ..... v
RESUMEN ..... vi
ABSTRACT ..... vii
INTRODUCCIÓN ..... 1
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA ..... 5
1.1 Origen y evolución del uso del caucho reciclado en materiales de construcción. . 5
1.2 Antecedentes técnicos del uso del caucho reciclado en bloques y elementos constructivos. ..... 12
1.3 Antecedentes económicos y valoración del uso del caucho reciclado en materiales de construcción. ..... 20
Brechas económicas y comerciales para la internacionalización. ..... 24
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 26
2.1 Tipo, enfoque y métodos de investigación. ..... 26
2.2 Diagnóstico de la correlación entre costos de fabricación de bloques tradicionales con caucho reciclado tipo B. ..... 31
2.3 Caracterización de la empresa Eco-Blocks ..... 45
CAPÍTULO III. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION Y PROPUESTA DE EXPORTACION. ..... 49
3.1 Análisis y valoración de fases necesarias para la propuesta de exportación del bloque tipo B con CR. ..... 49
3.2 Análisis de costos y elaboración de la propuesta de exportación del bloque tipo B con caucho reciclado. ..... 51
CONCLUSIONES ..... 58
RECOMENDACIONES ..... 60
BIBLIOGRAFÍA ..... 61
ANEXOS ..... 68

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el acelerado crecimiento de la población y la consecuente expansión de la industria automotriz han generado una acumulación masiva de neumáticos fuera de uso (NFU). Se estima que en el año 2022 el mercado global de neumáticos rondó los 2.300 millones de unidades producidas, con una proyección de crecimiento hacia 2028 de 2.700 millones de unidades (Ramírez et al., 2024). Este volumen de producción representa un problema ambiental creciente a nivel internacional; se estima que cada año más de 1.500 millones de neumáticos son desechados en el mundo (Ramírez et al., 2024), de los cuales menos del 30 % se recicla efectivamente.

Esta problemática es agravada por los componentes fisicoquímicos del caucho, el cual es un material polimérico termoestable diseñado para ser resistente en autopistas o carreteras, dando a entender que tiene un periodo de degradación muy lenta de aproximadamente 100 años (Gómez, 2019).

Actualmente, en gran parte del mundo, la gestión de estos residuos es ineficiente. Las regiones más avanzadas en la carrera del reciclaje y la reutilización del NFU son Europa, Estados Unidos y Japón; sus tasas de recuperación superan el 85% (Abdullah Ziyad Tariq, 2024). Por el contrario, regiones como África y América Latina presentan tasas menores debido a la ineficiencia de tecnologías de recuperación y la inexistencia o falta de aplicación de marcos regulatorios.

Bajo la premisa anterior, se estima que solamente del 3% al 15% de los neumáticos se reciclan, mientras que cerca del 20% al 30% terminan en vertederos, espacios públicos o centros de acopio ilegales, y hasta cerca de un 60% terminan incinerados por industrias de recuperación de energía (Ramírez et al., 2024). Estas prácticas son contraproducentes para los seres humanos y el medio ambiente, debido a que liberan gases tóxicos y aceites contaminantes en suelos y fuentes de agua potable. Además, la acumulación de los NFU en el medio ambiente los convierte en acopios que son fuentes de proliferación de vectores de enfermedades como el dengue, zika y chikunguña (Vizuete et al., 2023).

Lo anterior evidencia la necesidad de transformar este desecho en un recurso productivo, por lo cual la presente investigación busca contribuir con una alternativa ecológica dentro del sector de la construcción sostenible. Empresas como Eco-Blocks surgen para proponer la transformación del caucho reciclado de los NFU en sustitutos de materiales de construcción, a través de un producto que pretende alinearse con las tendencias de construcción sostenible, con miras hacia mercados internacionales verdes.

La industria de la construcción es considerada la mayor consumidora de materias primas a nivel mundial, se estima que absorbe el 80% de los agregados naturales extraídos (Xiong et al., 2024). La extracción desmedida de los minerales como la arena de río genera inestabilidad en los lechos de los ríos e interrumpe los ecosistemas fluviales (Siddika Ayesha et al., 2019).

La reutilización y el aprovechamiento del caucho reciclado proveniente de los NFU favorecen la reducción de la huella de carbono, aplicándolo en el hormigón o en elementos constructivos como bloques y ladrillos. Estudios demuestran que un bloque compuesto en su interior con el 10% de caucho puede reducir el potencial de calentamiento global en hasta un 40% en comparación con el mortero tradicional (García et al., 2022).

Sin embargo, la inclusión del caucho reciclado reduce la resistencia a la compresión entre un 30% y un 63% de acuerdo al nivel de reemplazo; en contraste, el hormigón con caucho presenta propiedades únicas para aplicaciones no estructurales (Siddika Ayesha et al., 2019). Y los bloques elaborados con base en el uso del caucho ofrecen una baja conductividad térmica, una alta absorción acústica, un incremento en la ductilidad y tenacidad del material, ideales para una mejor absorción de la energía sísmica antes de presentarse fallas mecánicas (Gómez, 2019).

El caucho reciclado en el mercado está valorado entre un rango de precios que van desde los $0.28 a $0.55, si bien los costos de procesamiento del caucho pueden ser elevados con respecto a los modelos tradicionales, es importante recalcar que la internacionalización hacia mercados verdes generan oportunidades, debido a que, las nuevas políticas internacionales de compras públicas siguen generando

una demanda constante de materiales ecológicos con el fin de reducir la huella de carbono, esto al ofrecer una ventaja competitiva a los productos que tengan certificaciones ambientales y de comercio justo (Vitor dos Santos et al., 2019).

Para el desarrollo de la propuesta, la investigación sigue un objetivo general, el cual tiene como propósito analizar los costos y el potencial sostenible de bloques con caucho reciclado, mediante un estudio técnico-económico que determine su viabilidad en mercados internacionales verdes. Además, como primer objetivo específico, se espera identificar antecedentes y estudios sobre el uso del caucho reciclado en materiales de construcción en las variables técnicas y económicas para establecer una guía de estudio frente a los estándares exigidos en la industria.

También, como segundo objetivo, se pretende analizar la correlación entre los costos de fabricación y las características sostenibles de los bloques elaborados con caucho reciclado, comparándolos con bloques convencionales a partir de fichas técnicas desarrolladas en la empresa Eco-Blocks que integren factores técnicos y económicos. Y como tercer objetivo se busca elaborar una propuesta técnica y económica que promueva la incorporación de bloques ecológicos con caucho reciclado en mercados internacionales verdes, considerando mercados que sigan tendencias de demanda de productos sostenibles a fin de reducir las emisiones de $CO_2$ en el planeta y que impulsen la transición de nuevos proyectos de desarrollo sostenible.

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo a fin de probar la veracidad de la hipótesis inicial, la cual menciona lo siguiente: La incorporación de caucho reciclado de neumáticos en diferentes porcentajes (10%, 20% y 30%) como sustituto del agregado fino en la fabricación de bloques de mampostería no estructural Tipo B modifica significativamente sus propiedades físico-mecánicas y reduce el costo de producción en comparación con el bloque convencional. La validación de la hipótesis se realiza mediante el análisis de datos numéricos y análisis estadísticos, basándose en tres pilares fundamentales de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

El primero es ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura), al desarrollar nuevos materiales de construcción mediante el *upcycling* de residuos industriales,

promoviendo de esta manera la edificación de infraestructuras urbanas más sostenibles y resilientes (Ul Islam Mohammad Momeen et al., 2022). El segundo es ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), al ofrecer una propuesta para solventar la construcción de una vivienda que cuente con un mejor aislamiento térmico y acústico, se busca reducir el consumo energético de las zonas urbanas, mitigando de esta manera la proliferación de desperdicios peligrosos en los espacios públicos de las ciudades (Nuttawut, 2021).

El tercero es el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables); al aplicar la teoría de la economía circular, se pretende reducir la extracción de recursos minerales de origen natural, como lo son los agregados finos, la arena y la grava. Y se da paso a la valoración de un desecho industrial como el caucho en un material alternativo ecológico a fin de reducir su incurrencia en la contaminación del medio ambiente global (Ramírez et al., 2024).

Y como conclusión se espera que el desarrollo de bloques con caucho reciclado en la empresa Eco-Blocks no sea solo una respuesta a una problemática local, sino que signifique un avance en la proyección de la utilización de materiales de construcción alternativos, los cuales favorezcan a equilibrar la eficiencia mecánica con la rentabilidad financiera y la responsabilidad ambiental en entornos internacionales que valoran la sostenibilidad como pilar fundamental en la reducción de la huella de carbono e impulsar la concientización hacia nuevas alternativas de construcción sostenible.

# CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE Y LA PRÁCTICA

El primer capítulo tiene como objetivo identificar antecedentes de estudio acerca del uso del caucho reciclado proveniente de neumáticos fuera de uso NFU y analizar su correlación en el sector de la construcción como un material ecológico al valorar aspectos técnicos y económicos y así, establecer una base teórica que permita comprender la viabilidad del caucho como una alternativa sostenible.

## 1.1 Origen y evolución del uso del caucho reciclado en materiales de construcción.

El caucho como material para la construcción es relativamente nuevo, debido a que, los materiales iniciales fueron el barro, arcilla y arena. Sin embargo, es importante analizar sus orígenes, a fin de conocer sus etapas de desarrollo e innovación a lo largo de los años.

El uso del caucho reciclado como un elemento en el sector de la construcción toma relevancia debido a la necesidad de gestionar uno de los residuos industriales más nocivos para el medio ambiente, los neumáticos fuera de uso (NFU).

Debido a esta necesidad de tratar los NFU como una amenaza medioambiental, la comunidad científica, a lo largo de los años, ha explorado alternativas de revalorización que permitan incorporar los residuos de NFU en nuevos ciclos productivos. Se comprende que el caucho, al ser un material polímero termoestable, no puede fundirse y remoldearse en un nuevo neumático; por el contrario, requiere de nuevos procesos químicos y mecánicos para poder implementarlo en nuevos ciclos productivos (Castro Guerrero et al., 2024).

Uno de los primeros usos del caucho se hace en los años 60 y 70, específicamente en el recubrimiento de grietas en el asfalto, utilizado como parches en zonas pavimentadas que presentan fallos. McDonald es considerado el padre del pavimento de asfalto y caucho, que fue seguido del Ing. Juan Gallego Medina, quien difundió su uso en Barcelona en el año 1974, y que posteriormente se popularizó y se extendió por Latinoamérica a través de sus estudios.

De igual manera, con el avance de nuevas tecnologías de trituración y granulometría del caucho, las siguientes aplicaciones se centraron en rellenos, capas viales o en superficies deportivas, las cuales aprovechan su propiedad elástica (Fuertes Graciela & Monteverde Guillermo, 2024). El avance del tratamiento del NFU permite obtener partículas de caucho más homogéneas y controladas para usos posteriores en otros proyectos ecológicos.

**Evolución**

En concordancia con lo anterior, diversos estudios también demuestran que inicialmente la recolección y la reutilización del caucho empiezan a tomar relevancia en la incorporación como elemento adicional en los compuestos cementosos y, durante las tres últimas décadas, el uso de este residuo de NFU se centró en una alternativa sustituta de insumos minerales como la grava y la arena en hormigones de caucho; esto sin comprometer necesariamente la resistencia estructural de las aplicaciones. De igual manera, el autor Atencio, (2025) destaca el uso del caucho en la elaboración de ladrillos ecológicos, los cuales favorecen la reducción del daño medioambiental frente a la producción de un ladrillo tradicional.

Por lo tanto, se promueve la reutilización de estos residuos de NFU como fuentes de materia prima liviana al aprovechar sus propiedades permeables y aislantes, aplicándolos en el ámbito de la construcción y la ingeniería civil, y en la actualidad, se utilizan en campos más variados y diversos como el césped artificial, terraplenes, suelos reforzados con neumáticos triturados, en el aislamiento de carreteras, drenajes de campos y en el asfalto como componente adicional (Helmy & Elrahman, 2023). Y debido a los usos posteriores que se dan a los NFU, gracias a sus características físicas, mecánicas y dinámicas, son cada vez más aplicados con éxito a diversos proyectos de sostenibilidad.

Dada la flexibilidad de trabajabilidad de este material industrial y debido a sus componentes internos como el caucho, el cual constituye casi el 47%-48%, seguido del carbón negro, que ocupa el 22%, y las fibras de acero, que representan del 15% al 17%, la tela textil 5%, otros aditivos que ocupan el 8% y óxido de zinc y azufre de 1% cada uno (Zia Asad et al., 2022). Estos materiales por separado constituyen

insumos alternativos valiosos que a lo largo de los años han tomado relevancia en el sector de la construcción y otros campos de la ingeniería.

En síntesis, el origen y la evolución del uso del caucho reciclado en materiales de construcción aportan a la reducción de la contaminación y pueden ser viables para el desarrollo de nuevos proyectos ecológicos (Colín, 2024), consolidándose, así como una alternativa sostenible.

**Problemática global de los neumáticos fuera de uso (NFU) como residuo industrial.**

Uno de los desafíos que han enfrentado las naciones en estos últimos años es la dificultad para hacer frente a la desmedida presencia de neumáticos fuera de uso (NFU), en el medio ambiente, lo que representa una amenaza constante a nivel global, el desecho de estos insumos automotrices da como resultado desperdicios que están acumulados en las zonas rurales, lo que, a su vez afecta de manera significativa la salud de los habitantes de las zonas cercanas.

Por lo tanto, la industria busca una forma ecológica de desechar los NFU, y aquello es posible a través de la recuperación de los ingredientes básicos de los neumáticos fuera de su vida útil, entre el 15% y 17% de la fibra de acero de la que está compuesto un NFU tiene un enfoque de utilización en compuestos de hormigón, lo que da a su vez, una resistencia similar al hormigón reforzado con fibras de acero (SRFC) convencional (Moasas et al., 2022).

Esto debido a que, la adición de esta fibra de acero en el hormigón mejora considerablemente su resistencia a la flexión, y se considera además que, una aplicación de entre 0.23% y 0.5% de la cifra de acero como contenido volumétrico en el concreto es una proporción optima que mejora la resistencia a la compresión, sin embargo, un aumento del uso de la fibra de acero del 2%, 4%, 6% y 8% reduce la resistencia del 1.93%, 13.5%, 18.3% y 26.5% respectivamente (Moasas et al., 2022).

Y otro elemento principal que se puede extraer de los NFU es la fibra de polímero reciclada, que, de acuerdo con el material de investigación citado, se recuperan

anualmente cerca de 250.000 toneladas de fibra de polímero, que son aprovechadas posteriormente en el sector textil, la construcción y la ingeniería avanzada.

De igual manera, dada la flexibilidad y resistencia, los gránulos de caucho son utilizados comúnmente en el sector de la construcción como elementos sustitutos tanto de los agregados finos menores de cinco milímetros y gruesos menores que veinte milímetros (Qin & Kaewunruen, 2024). Sin embargo, se recomienda una utilización aproximada del caucho de entre 10% y 30% del volumen del hormigón, para no alterar significativamente la resistencia a la comprensión de la misma.

Estos aportes demuestran que los componentes reciclados de los NFU pueden ser una alternativa como elemento constructivo y demuestran varias formas de reutilizarlos para reducir los efectos ambientales negativos. Con lo señalado anteriormente, se comprende la necesidad de buscar alternativas sostenibles de reutilización para estos desechos después de que hayan completado su vida útil. Esta práctica busca un desarrollo sostenible que involucra el aprovechamiento de los NFU, evitando de esta manera su abandono, la quema o destinos inadecuados en vertederos, quebradas y ríos (Guevara et al., 2020).

**Relación entre economía circular y reutilización del caucho reciclado**

Tomando en consideración los estudios acerca de la reutilización del caucho del neumático reciclado, es importante comprender que esta práctica sostenible busca la reducción de residuos que están presentes en el medio ambiente a través de una economía circular.

Este tipo de sistema económico busca reducir y optimizar el uso de recursos industriales dañinos para el medio ambiente, como es el caso de los NFU, y también este concepto toma fuerza como alternativa al modelo económico lineal tradicional que todavía sigue un enfoque de extraer-fabricar-desechar (Purushothaman R. et al., 2025).

Como muestra de la aplicación de la economía circular, se demuestra que es posible reutilizar de una forma adecuada, innovadora y respetuosa con el medio

ambiente los neumáticos de desecho, al poder extraer varios insumos del neumático, como las fibras de acero y caucho, que son apreciados en el sector de la construcción, más específicamente en los campos de aplicación; en estructuras tales como: losas de hormigón, columnas & vigas, y muros de hormigón engomado; los cuales, tienen como cualidad la amortiguación y el aislamiento térmico frente al hormigón convencional (Chen Zhongbo et al., 2023)

Lo anterior toma concordancia con lo expuesto por Qin & Kaewunruen (2024), quienes expresan que la economía circular integra los principios de producción, consumo y gestión de residuos con la circulación sostenible de recursos, con el fin de mantener un equilibrio entre el crecimiento económico y la sostenibilidad ecológica.

Esto demuestra que, en la industria de la construcción, la utilización de alternativas con recursos reciclados que sean sostenibles y ecológicas con el medio ambiente es una apuesta viable para las empresas, con el fin de buscar reducir la huella de carbono y generar buenas prácticas, que son altamente consideradas por los mercados internacionales verdes.

**Contexto internacional y latinoamericano del aprovechamiento de NFU.**

A nivel mundial, se estima que existen cerca de 1500 millones de neumáticos anuales de desecho, lo que, a su vez, equivale a 17 millones de toneladas de residuos; se hace hincapié en que, si no se gestionan correctamente, estos residuos pueden provocar graves riesgos al medio ambiente.

Aunque existen esfuerzos de reciclaje, esto varia, de acuerdo a la región, en Estados Unidos hay una estimación de desperdicio de 300 millones de neumáticos anualmente con una tasa de reciclaje medianamente alta que ronda el 80%, en cambio en la Unión Europea gracias a la existencia de un marco de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que exige a los productores tener responsabilidad de sus productos después de la etapa de consumo de sus productos, permite recuperar hasta el 95% NFU a través de procesos de reciclaje o recuperación de energía.

Mientras tanto, en países como China, la cual es considerada el mercado de vehículos más grande del mundo, se generan más de 200 millones de neumáticos usados anualmente. En consecuencia, existen iniciativas recientes del gobierno para fomentar el reciclaje industrial; sin embargo, estas iniciativas aún están en desarrollo. En contraste con lo anterior, regiones como Medio Oriente y África del Norte aún enfrentan desafíos constantes; esto se debe a limitantes en los marcos regulatorios y a la insuficiencia en el desarrollo de instalaciones de reciclaje. Por tanto, muchos países de estas regiones optan por depositarlos en vertederos (Laftah Waham Ashaier & Wan Abdul Rahman Wan Aizan, 2025).

Por su parte, en Latinoamérica la situación es similar a la de los países de Medio Oriente y África, si bien existe una conciencia ambiental sobre el daño nocivo de los NFU en el medio ambiente, todavía no existen proyectos o programas desarrollados para el aprovechamiento de estos residuos y en su mayoría se centran en proyectos piloto o investigaciones académicas.

El panorama de los NFU presenta brechas significativas en lo que respecta a infraestructura y legislación. Países como Brasil, aunque disponen de la Policía Nacional de Residuos Sólidos (PNRS), solamente aportan el 1,94% de la recuperación nacional; esto, a pesar del crecimiento acelerado del sector automotriz. (Vitor dos Santos et al., 2019). En Colombia, el panorama es similar; se estima que se desechan cerca de 2,5 millones de neumáticos al año y un aproximado del 30% terminan abandonados en espacios públicos debido a la carencia de plantas recicladoras y trituradoras (Gómez, 2019).

Sin embargo, Chile demuestra estar en la carrera por promover alternativas al tratamiento del NFU, y en octubre de 2023 entra en vigencia la Ley REP, la cual establece objetivos para la recogida y recuperación de neumáticos fuera de su vida útil, promoviendo el reciclaje y nuevas alternativas de reutilización para eliminar su acumulación en espacios públicos (Armijo, 2025).

**Situación del uso del caucho reciclado en Ecuador y brechas existentes.**

En concordancia con lo anterior, el autor Vizuete Marco (2023), afirma que Ecuador no está exento de esta crisis y se estima que se generan cerca de 240.000 NFU, con una tasa de recuperación de solamente el 20%. En Tungurahua, específicamente en Ambato, los NFU representan una constante amenaza en la ocupación de espacios públicos y quebradas como botaderos o sitios de acopio ilegales que, con el paso del tiempo, afectan la salud pública de los habitantes debido a la proliferación de vectores y roedores.

En Ecuador, de acuerdo a los datos de la Asociación de Empresas automotrices del Ecuador, durante el año 2025 se registró la venta de 124.505 vehículos, de los cuales, el 84% corresponde a unidades importadas, lo que equivale a 90.944 unidades, de los cuales, el 86% corresponde a vehículos livianos como automóviles o camionetas y el 14% corresponde a vehículos pesados como autobuses y camiones, además se evidencia que, hay un incremento del 15% de vehículos nuevos comercializados con respecto al 2024 (Vásconez, 2025).

Por tanto, utilizando esta cifra creciente, se puede estimar la demanda derivada de neumáticos utilizando un promedio técnico de 4 unidades por vehículo liviano y 10 neumáticos por vehículo pesado; por tanto, los vehículos livianos generan una demanda aproximada de 359.770 neumáticos al año y 146.420 neumáticos para los vehículos pesados.

En consecuencia, se estima que Ecuador en el año 2025 tiene una demanda de 506.190 neumáticos, lo que dimensiona en cierta manera el mercado del neumático en el Ecuador; sin embargo, esto sin considerar el segmento de reposición, el cual representa cifras más significativas a considerar dentro del consumo total. Y debido a la inexistencia de un marco legal que regule el destino final de los NFU o su posterior uso en procesos de reciclaje o reutilización, muchos terminan incinerados al aire libre, apilados en terrenos baldíos, esteros y carreteras, dentro de los cuales algunos son fuentes de proliferación de vectores sanitarios (Vizuete Marco, 2023).

En contraste con lo anterior, un estudio realizado en Guayaquil evidencia el uso del hormigón con caucho reciclado y desperdicios de bloques como un insumo

alternativo en la construcción de cerramientos perimetrales, y mediante un análisis de laboratorio se determinó que se puede dar una segunda vida a los NFU en estructuras simples y hormigón armado (Martillo, 2025). Y evitar de esta forma el daño que conlleva deshacerse de estos materiales en el medio ambiente.

Por consiguiente, existe potencial para el uso del NFU como elemento en la construcción a nivel local y existe una abundante literatura que evalúa la viabilidad de incorporar el caucho en el hormigón. Tal es el caso que se puede incorporarlo como insumo en la fabricación de bloques de hormigón, el cual será evaluado para su exportación bajo las variables técnicas y económicas, hacia mercados internacionales verdes con miras a futuro hacia la sostenibilidad.

## 1.2 Antecedentes técnicos del uso del caucho reciclado en bloques y elementos constructivos.

### Características físicas y químicas del caucho reciclado aplicado a la construcción.

El caucho reciclado proveniente de los procesos de trituración de los NFU puede ser un reemplazo de agregados finos para elaborar un hormigón reciclado; estos pueden ser, además del caucho, la ceniza volcánica, partículas de polietileno, plástico o concha de berberecho (García et al., 2022). En adición a lo anterior, un sustituto alternativo como el caucho no altera significativamente las propiedades mecánicas del hormigón si su uso es en pequeñas cantidades, de tal manera que el hormigón mantiene las mismas características mecánicas o puede variar ligeramente.

Por el contrario, una adición mayor de caucho provoca un efecto contrario debido al fenómeno de la acumulación de oxígeno en algunas áreas del concreto, lo que provoca el debilitamiento de la unión entre el caucho y el cemento, dando como resultado un hormigón más propenso a presentar grietas (Helmy, et al., 2023). Este aporte evidencia que el uso de sustitutos como el caucho promueve la reducción de la explotación de recursos minerales y, en consecuencia, reduce las emisiones de carbono.

Sin embargo, para obtener un bloque de hormigón que cumpla con las propiedades mecánicas exigidas, objetivo de la presente investigación, se toman en cuenta los costos de producción para cumplir con los estándares permitidos y aceptados en la industria del hormigón, los cuales se estudian a profundidad a lo largo de la investigación.

De acuerdo con la literatura, se determinó la compatibilidad del hormigón-caucho bajo diversos factores tales como el grosor del caucho granulado y las proporciones aplicadas de los insumos del concreto, demostrando así que la resistencia y la compactibilidad del hormigón se ven afectadas a medida que aumenta la cantidad y el grosor del grano. Sin embargo, un aporte adicional es que es posible mejorar esta resistencia al implementar otros aditivos complementarios como la sílice y las cenizas volantes, los cuales fortalecen la homogeneidad de la mezcla (Sheraz et al., 2023).

Un estudio afirma que una proporción del 5% de caucho granulado demuestra una comprensión óptima con el concreto, lo cual demuestra que no es necesaria una adición de polvo de caucho más fino para que la resistencia del hormigón sea mayor (Yung et al., 2013). Por lo tanto, aunque las propiedades porosas del caucho triturado reducen la adhesión con el cemento, este efecto se ve contrastado con las aplicaciones de aditivos adicionales que cumplen la función de pre-revestido, para así mejorar la unión del caucho con el hormigón, tales como el superplastificante, que se sugiere utilizarlo en una concentración optima de 1% a 1.5% en peso del cemento, de esta manera, mejorar la trabajabilidad en concordancia a las norma ASTM C-494 tipo A y F (García et al., 2022).

**Procesos de tratamiento y trituración del NFU para uso constructivo.**

Un estudio realizado en la provincia de Tungurahua acerca del procesamiento de NFU demuestra que la trituración mecánica es el único método por el cual se logra mantener las propiedades físicas y químicas del neumático en óptimas condiciones y convertir el caucho en un material de calidad para su uso posterior en procesos productivos a fin de obtener productos elaborados (Chimborazo, 2017). Y para conveniencia de esta investigación se opta por emplear el caucho granulado

conocido de esta manera en el mercado, el cual está compuesto en un 95% de caucho y un 5% de nylon, con un tamaño estimado de 1 mm a 3 mm, el cual se almacena en un espacio de 30 grados centígrados.

La literatura también indica que existen dos alternativas de tratamiento mecánico del NFU: la trituración a temperatura ambiente y la trituración criogénica. En síntesis, el primer método consta de varias etapas sucesivas hasta obtener gránulos de caucho de entre 1 y 3 mm. Durante el proceso, se segmentan las fibras de acero a través de métodos magnéticos para luego separarlas y procesarlas por separado, dando como resultado gránulos de caucho para su uso y comercialización posteriores.

En cambio, la trituración criogénica consiste en enfriar los neumáticos a temperaturas extremadamente bajas utilizando refrigerantes como el nitrógeno líquido, de esta manera, fragmentarlos de una forma más fácil, para culminar el proceso con el resultado de partículas más pequeñas y una mejor separación de las fibras de acero. Además, el proceso de la criogenización mantiene un menor número de etapas operativas (Hillerns Rodrigo Palma, 2017).

En contraste, el método de criogenización conlleva elevados costos de operación, por lo cual el producto final es más costoso. En cambio, el estudio demuestra que la trituración mecánica es la menos contaminante para el medio ambiente, lo cual equivale a una valoración más positiva, debido a que permite cumplir de manera más satisfactoria con las normativas medioambientales locales.

**Tipologías de bloques y elementos constructivos con caucho reciclado.**

El uso del caucho reciclado en la elaboración de bloques de mampostería es considerado una alternativa innovadora y sostenible en la construcción en muchas partes del mundo, debido a que es un sustituto parcial de los sustitutos tradicionales como la arena y la grava. Si bien favorece la reducción de residuos, también trae complicaciones significativas en las propiedades, físicas y funcionales del bloque resultante, y en concordancia con Thakur et al., (2020), el uso de caucho granulado en aplicaciones de mampostería es limitada, sin embargo, las propiedades como el aislamiento térmico y acústico ofrecen oportunidades en proyectos que valoran la

reducción de la huella de carbono y toma gran relevancia para proyectos prefabricados ligeros (Nuttawut, 2021).

Además, el caucho se incorpora generalmente en forma de partículas granuladas y trituradas que van desde 5mm y 0.5mm, los bloques elaborados con caucho difieren entre sí de acuerdo al tamaño y la forma del caucho utilizado, que van desde porcentajes del 5% al 30% del volumen total y también dependen del tamaño y la granulometría del caucho triturado (Helmy, et al., 2023). Es importante considerar el rango de porcentajes anterior, debido a que, ayuda a equilibrar las propiedades mecánicas con los beneficios funcionales del resto de materiales como el cemento portland y la arcilla.

La literatura acerca del uso del caucho reciclado en bloques elaborados de mampostería indica que existen bloques livianos para losas y para usos no estructurales, clasificados como bloques de mampostería no estructural Tipo B, de acuerdo con la norma NTE INEN 3066, los cuales son utilizados para usos exclusivamente de paredes divisorias exteriores (Alvear, 2025).

Además, de acuerdo con la norma INEN 644, aplicaciones del 10%, 20% y 30% de adición de caucho son óptimas y porcentajes superiores demuestran una reducción de la resistencia (Soncco, 2023). Por lo tanto, dado la caracterización del uso específico de bloques en la construcción se valora el siguiente modelo ilustrado en el Anexo 1

Bloque hueco de hormigón, el cual tiene un diámetro de 40x15x20, largo, ancho y alto respectivamente. Este tipo de bloques tiene usos para paredes exteriores con revestimiento y paredes divisorias con o sin revestimiento.

## Influencia del caucho reciclado en propiedades técnicas de resistencia de bloques de mampostería no estructural tipo B

De acuerdo a la literatura, un bloque realizado con caucho reciclado es capaz de mejorar la adherencia entre los materiales como la arena y el cemento, después de una serie de pruebas realizadas en laboratorio que ponen a prueba la resistencia a la compresión aplicando una fuerza de 1.5 MPa durante un lapso de tiempo prolongado de uno a dos minutos, estos bloques tienden a presentarse fisuras, pero no se fragmentan en múltiples pedazos, caso contrario con los bloques tradicionales que no tienen caucho (Alvear, 2025). Dando así a entender que, esta característica técnica se debe a la propiedad elástica del caucho, dando como resultado bloques con una característica mejorada frente a sismos.

Además, se debe valorar la influencia del caucho reciclado a partir de NFU en las propiedades mecánicas del hormigón, como la resistencia y trabajabilidad, características que se detallan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Análisis comparativo de las características del uso del caucho en bloques tipo B

| Propiedad | Valoración | Datos | Interpretación en bloques tipo B |
|---|---|---|---|
| **Resistencia mecánica** | Entre mayor aplicación del caucho, presenta un aumento en la ductilidad. | Aplicación optima de entre 10% y 30% de contenido de caucho. | La característica del cemento encauchado es ideal para disipar la energía sísmica, debido a las propiedades de flexibilidad del caucho. |
| **Densidad y peso** | Reducción significativa del peso del producto, ideal para elementos estructurales livianos. | De entre 6% a 27% de reducción del peso. | Característica que permite obtener bloques de mampostería liviano útil para reducir las cargas estructurales en losas. |
| **Comportamiento térmico** | Ventaja al permitir un mejor aislamiento térmico debido a una menor conductibilidad, propiedad del caucho | Conductibilidad térmica reducida de entre 10% a 15%. | Esta característica permite mejorar la eficiencia energética en casas o edificaciones. Uso en paredes interiores de viviendas. |
| **Comportamiento acuático** | Incremento de la absorción sonora del exterior. | Presenta un mejor desempeño en frecuencias medias - altas superiores a 1000Hz | Característica ideal para muros divisorios de interiores y confort acústico de viviendas, al mejorar la calidad sonora interna. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Absorción del agua** | Aumento del volumen de absorción del agua por mayor porosidad del material. | Proporcional al incremento del uso del caucho reciclado. | Se requiere un control técnico más riguroso, propiedad que influye en la mampostería de bloques acorde a la granulometría aplicada. |
| **Sostenibilidad** | Reducción del uso de agregados minerales. | Sustitución parcial del 10% y 30% de materiales convencionales como la arena y la grava. | Alineado a una economía circular de aprovechamiento de residuos nocivos para el medio ambiente aplicándolos en la elaboración de bloques ecológicos. |

Fuente: elaboración propia a partir de (Sheraz et al., 2023)

## Requisitos técnicos y normativas aplicables a bloques con materiales reciclados como los NFU.

En Ecuador, la producción de bloques de mampostería se rige a través de la norma NTE INEN 3066, la cual establece los requisitos físicos y mecánicos para garantizar la seguridad y durabilidad de las unidades de mampostería, por lo tanto, esta normativa clasifica a los elementos para su uso en construcciones de cerramiento y divisiones, como bloques mampostería no estructural tipo B, la cual exige un promedio de la resistencia mínima a la comprensión de 4 MPa y un porcentaje de agua no mayor al 15%. En adición, aunque exige un control técnico riguroso, la norma no restringe la adopción de materiales reciclados en el proceso de elaboración como los agregados finos a partir de los NFU.

Además, en comparación con la regulación colombiana, la Norma NTC 4076 establece un mínimo promedio de resistencia de 6 MPa para bloques de mampostería no estructural; sin embargo, si se cumplen valores nominales: un espesor de 20 mm, con un margen de error inferior o superior de 2 mm, y un margen de 1% en espesor o altura, se puede garantizar la seguridad y eficiencia en obras.

Y bajo esta premisa, un estudio realizado en Colombia analiza la viabilidad de la sustitución de agregados convencionales como el NFU para su uso en bloques de mampostería, y se determina que la falta de adherencia mecánica y química establece un techo de resistencia de entre 1.4 y 2.1 MPa, esto debido a la densidad del bloque cuyas dimensiones son de 10x20x40 con tres cavidades (Gómez, 2019). Este estudio es una breve muestra del tipo de bloque que se pretende ensayar en

la presente investigación, por tanto, se evidencia que el estudio no cumple con la normativa colombiana NTC 4076 exigida de una resistencia mínima de 6 MPa.

En consecuencia, dada las exigencias normativas en Ecuador y Colombia también se realiza un estudio de la normativa peruana acerca de los bloques de mampostería no portantes. Se identifica en el Reglamento E.070, que reconoce expresamente la categoría Bloque NP, destinada a cerramientos con una resistencia mínima de 2 MPa como lo indica el (Ministerio de Vivienda, 2006)

Por lo tanto, se establece como un elemento a considerar en una propuesta de exportación debido a que Perú representa un mercado con menores barreras técnicas de ingreso. Caso contrario al mercado ecuatoriano y colombiano que, desde el punto normativo, son más exigentes al producto que se pretende producir y comercializar.

La literatura también demuestra que, entre mayor sea la densidad del bloque, mayor resistencia tiene a la compresión, motivo por el cual se detalla en la tabla 2 a modo de ejemplo.

**Tabla 2.** Relación densidad y resistencia

| **Medida Comercial (Ancho x Alto x Largo)** | **Clasificación de Peso** | **Densidad (Kg/m3)** | **Resistencia estimada** | **Peso Aprox. por Unidad*** |
|---|---|---|---|---|
| **10 x 20 x 40 cm** | Liviano / Mediano | Menos de 1680 | 2 - 3 Mpa | 7 - 9 kg |
| **15 x 20 x 40 cm** | Mediano / Normal | Entre 1.680 y 2.000 | 3 - 5 Mpa | 11 - 14 kg |
| **20 x 20 x 40 cm** | Normal | Mayor de 2,000 | 5 - 7 Mpa | 15 - 20 kg |

Fuente: Elaboración propia a partir de (Alvear, 2025)

Cabe recalcar que la resistencia es proporcional a la cantidad de cemento que se adicione y a otros elementos, como la curación y el secado. Pero en contraste, la reducción de la densidad del bloque es favorable en la logística del transporte, lo cual es un elemento a considerar para reducir costes de logística en su exportación, y en favor de aquello, el estudio demuestra que un bloque a partir del uso de caucho es un 15,9% menos denso que el concreto tradicional (Gomez, 2019).

## Comparación técnica entre bloques convencionales y bloques con caucho reciclado

De acuerdo a la literatura se presenta a continuación la tabla 3, que compara las características de resistencia de los bloques tradicionales frente al modelo que usa bloques con caucho reciclado a partir de los NFU.

**Tabla 3.** Características convencionales frente a bloques a partir de los NFU.

| Propiedad | Bloques Tradicionales | Bloques con Caucho | Evidencia de Datos (Rango) |
|---|---|---|---|
| **Densidad (Estado seco después de 28 días)** | Alta (2333 kg/m³) | Reducida (hasta 2219 kg/m³) | Disminución del 2% al 11.2% (reemplazo al 20%) |
| **Resistencia a la compresión** | Elevada (>30 MPa) | Moderada a Baja | Rango de 2.8 a 28 MPa, desde el bloque con caucho hasta el tradicional respectivamente. |
| **Aislamiento Térmico** | Estándar | Superior | Mejorada por porosidad intrínseca del caucho |
| **Ductilidad** | Baja (Frágil) | Muy Alta | Mayor deformación axial y energía de fractura (Gf) |
| **Falla Mecánica** | Explosiva/Súbita | Gradual/Dúctil | Resistencia residual post-agrietamiento superior |

Fuente: elaboración propia a partir de (Ahmad Jawad et al., 2022)

Con esto, se interpreta que los bloques de caucho presentan una mayor fragilidad, puesto que su resistencia disminuye significativamente respecto al bloque convencional. Esto, considerando una proporción de caucho del 20%. De igual manera, se reafirma la idea anterior: los bloques presentan pequeñas grietas, pero no se fragmentan en su totalidad. Sin embargo, se los categoriza por su caracterización, en bloques mampostería no estructural tipo B debido a su uso en muros no portantes, tabiques divisorios y cerramientos exteriores decorativos (Gómez, 2019).

## Limitaciones técnicas identificadas y alternativas de trabajabilidad.

Se evidencia una notable limitación en la trabajabilidad de los bloques debido a que, en el momento del prensado y de la vibración del molde, el gránulo de caucho tiende a homogeneizar la mezcla, debido al fenómeno de *buoyancy*, que concentra el caucho en la parte superior, debilitando de esta manera la sección transversal (Azunna Sunday U. et al., 2024).

El mismo autor afirma que la naturaleza hidrofóbica del caucho en su estado puro repele la pasta de cemento, debilitando la unión mecánica entre las partículas, dando así la formación de burbujas de aire y una mayor porosidad (Azunna Sunday U. et al., 2024). Sin embargo, estas limitantes pueden ser contrastadas con el uso de métodos o insumos adicionales que favorecen la trabajabilidad.

Desde la perspectiva de diseño de mezclas, una incorporación más fina de caucho al agregado natural puede mejorar la manejabilidad; de igual modo, el uso de superplastificantes puede mejorar la mitigación de la fricción. Además, el pre-recubrimiento de los gránulos de caucho con mortero de cemento ha demostrado un incremento más eficiente del 40,6% en la resistencia a la compresión; su finalidad consiste en crear una “cáscara dura” que fortalece la unión y la transición de esfuerzos (Azunna Sunday U. et al., 2024).

La literatura muestra que, si bien existen limitaciones críticas en la resistencia, se puede contrarrestarla con el uso de métodos o productos químicos, sin embargo, la práctica de estos pasos adicionales conlleva un incremento en la cotización final del bloque, lo que influye significativamente en el costo final del producto, aspecto que se analiza a mayor profundidad en el siguiente epígrafe.

## 1.3 Antecedentes económicos y valoración del uso del caucho reciclado en materiales de construcción.

### Estructura de costos en la fabricación de bloques convencionales.

Determinar una base sólida de costos de producción en bloques de mampostería para usos no estructurales tipo B es una manera útil para evaluar el potencial disruptivo del uso de materiales ecológicos como el caucho reciclado. En la actualidad, el costo unitario de un bloque tradicional se ve influenciado por las fluctuaciones de los componentes primarios: cemento, agregados naturales, como la arena de río, la piedra pómez y la grava.

El cemento, elemento principal de la resistencia del bloque, tiene incidencia directa en el costo del producto. De acuerdo con la normativa INEN 490, el Armaduro, cemento Portland Puzolánico Tipo IP, es ideal para la elaboración de prefabricados

debido a su resistencia inicial y su rápido fraguado. A continuación, se presenta la tabla 4, que representa una aproximación de los costos incurridos en los bloques mampostería no estructural tipo B, de medidas 20x20x40, y una estimación del costo por unidad de 15 kg.

**Tabla 4.** Relación densidad y resistencia

| Componente | Dosificación por Unidad | Costo Estimado (USD) |
|---|---|---|
| **Cemento Portland Armaduro** | 1.65 kg - 1.80 kg | $0.22 - $0.28 |
| **Arena Fina / Media** | 6.50 kg - 6.70 kg | $0.05 - $0.08 |
| **Grancilla (Piedra fina)** | 6.50 kg - 6.70 kg | $0.06 - $0.10 |
| **Agua** | 1.0 Litro | $0.01 |
| **Total, materiales (Tradicional)** | 15 kg | $0.34 - $0.47 |

Fuente: elaboración propia a partir de (Gordillo, 2025)

Sin embargo, es necesario comprender que el impacto económico del procesamiento del bloque varía de acuerdo con el nivel de tecnología utilizada en el prensado y la logística de obtención de la materia prima. En concordancia con lo anterior, la escasez creciente de las minas de agregados naturales obliga a las empresas productoras a buscar nuevas formas de producción, tales como la adopción de residuos de NFU como material sustituto que genere bajo costo y menor impacto ambiental (Yu Zhuoqun et al., 2022).

## Tecnología de prensado con caucho de NFU

Dentro del proceso de producción de bloques, la empresa Eco-Blocks dispone de maquinaria que se fundamenta en la tecnología de la vibrocomprensión; dicha maquinaria permite comprimir la mezcla y obtener aristas uniformes y una textura recta y cerrada. Sin embargo, existen factores que interfieren en la eficiencia de la producción, por ejemplo, una falla en las maquinarias de prensado da como resultado bloques con medidas inexactas o grietas prematuras en el desmolde, además, la incapacidad técnica es otra fuente del desperdicio de materia prima, resultando en bloques defectuosos en los lotes producidos, lo cual conlleva un encarecimiento de los costos al final del proceso de producción (Kulatunga U et al., 1981).

En cambio, al incorporar materiales reciclados como los gránulos de los NFU, la tecnología aplicada es más indispensable, debido a que el caucho actúa como un componente elástico y es más propenso a presentar fallas estructurales (Grima-

Cornish James N. et al., 2019). Y dadas sus propiedades, se deben controlar rigurosamente los métodos de clasificación para obtener un producto con resistencia mecánica, cuidando la geometría exacta del bloque.

**Impacto del caucho reciclado en los costos de materia prima.**

Los precios del caucho granulado proveniente de NFU varían de acuerdo a la región y generalmente se sitúan en un rango de precios de 0.28 a 0.55 USD/Kg. Lo que da a entender que existe oferta de este material. Sin embargo, al sustituir los agregados finos naturales como la arena, suele aumentar el costo del hormigón entre un 6% y un 7%, debido a que el precio de compra del caucho es mayor (Xiong et al., 2024).

La opción más rentable en términos de costo-beneficio es establecer un límite de reemplazo del 20% para evitar una disminución significativa de la resistencia a la compresión (Ahmad Jawad et al., 2022). De tal manera, se reduce el consumo de otros materiales como la arena y la grava y permite obtener un producto con una resistencia aceptable frente a los estándares exigidos en su categoría.

Además, el uso de caucho puede reemplazar hasta 3.5 veces su propio peso en arena o grava, debido a su baja densidad, por lo cual, es vital para tratar la escasez de recursos minerales, y dado su potencial en la sostenibilidad de la reducción del $CO_2$ fortalece la propuesta inicial de presentarlo en mercados internacionales que valoren y prioricen la reducción de la huella de carbono, de acuerdo a los planes de desarrollo sostenible e innovador de los años recientes.

**Tendencias de mercado para materiales de construcción sostenibles.**

De acuerdo con la literatura, el cemento es el núcleo de la infraestructura global; sin embargo, en el proceso de su elaboración, es el causante del 5% de las emisiones de $CO_2$ a nivel mundial (García et al., 2022). Lo que lo convierte en el elemento constructivo más contaminante del mundo; por el contrario, en la presente investigación se pretende reducir su uso, tomando en consideración la adición del caucho reciclado.

Además, los elementos como la arena y la grava son recursos no renovables, que toman periodos geológicos considerables para su extracción, por tal motivo, el uso de los NFU es una forma de mitigar la escasez de recursos minerales optimizando a la vez la reducción del riesgo de contaminación atmosférica causada por la quema de neumáticos (Xiong et al., 2024).

Sin embargo, un desafío que enfrentan las naciones, es la creciente urgencia para que el sector de la construcción transite hacia un modelo más sostenible, basándose en los principios de la economía circular. Cada vez más países se suman a esta iniciativa de mejorar la circularidad a través del uso de materiales sostenibles (Metinal & Gumusburun, 2025).

Por el contrario, países más avanzados, como Reino Unido, Japón y Países Bajos, son los que más conciencia ambiental hacen hincapié e implementan iniciativas estratégicas sobre la Reducción, Reutilización y Reciclaje de Materiales y Componentes (CE). En cambio, países menos desarrollados se centran en soluciones más localizadas y específicas debido a las barreras en marcos políticos y tecnologías aplicadas en el desempeño de la CE (Metinal & Gumusburun, 2025).

El Potencial de Calentamiento Global (PCG) es la métrica para evaluar el costo ambiental, y la adopción del caucho reciclado genera un impacto ecológico multidimensional, representando una reducción de hasta el 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero (García et al., 2022). Además, en una evaluación del concreto tradicional y de otro que utiliza los residuos de caucho, se determina que el concreto nominal registra 396 kg $CO_2$; en cambio, la mezcla con el 10% de caucho desciende a 244 kg $CO_2$, demostrando el potencial sostenible a largo plazo, valoraciones importantes e ideales para proyectos con certificaciones de baja huella de carbono.

**Demanda y aceptación de productos ecológicos en mercados verdes.**

En el ecosistema global se ha documentado que el número de consumidores que interactúan con el mercado a través de preferencias de compra ecológicas va en aumento (Esteves Mariana C. et al., 2017). De acuerdo con el mismo autor, desde 2004, Nueva Zelanda implementa la ley de construcción que obliga a las obras o

proyectos a trabajar con ecoetiquetas, las cuales gozan de gran credibilidad por su transparencia y gobernanza, aplicadas a productos ecológicos de la construcción tanto nacionales como internacionales.

Y en el mundo, los países están en carrera por implementar normativas y lineamientos que impulsen nuevos modelos de construcción ecológicos, tal es el caso de China, que desde 2020 ha experimentado una transformación estructural, impulsada por el compromiso nacional de alcanzar reducciones de carbono hasta el año 2030, lo cual impulsa un nuevo ecosistema: la viabilidad comercial de materiales de construcción (Guo Wenxuan, 2025).

Estos productos ecológicos no dependen exclusivamente de costes, sino de la capacidad de acoplarse a las políticas ambientales rigurosas y de la volatilidad en la demanda del mercado global. Por tal razón, se analiza la viabilidad de desarrollar propuestas de productos sostenibles como los bloques con caucho reciclado, siendo una alternativa hacia los mercados ecológicos y sostenibles de países internacionales verdes.

**Brechas económicas y comerciales para la internacionalización.**

La literatura señala que una transición hacia modelos de economía circular enfrenta una serie de desafíos y barreras sistémicas. Uno de los principales problemas radica en las lagunas regulatorias y legislativas; los incentivos y las normativas para el reciclaje y la reutilización son escasos y no evidencian una alternativa económica viable y certera a largo plazo (Metinal Yusuf Berkay & Ayalp Gumusburun Gulden, 2025).

De igual manera, la inversión inicial en maquinaria y nuevas tecnologías de tratamiento con materiales reciclados demuestra un obstáculo notable. La producción con un nuevo suministro sustituto, como el caucho reciclado, reestructura toda una cadena de suministro, evidenciando un incremento de costos que en la mayoría de los casos no es absorbido por la demanda; por tanto, desde el punto de vista económico es más conveniente recurrir a los insumos tradicionales.

En concordancia con lo anterior, para competir en un escenario internacional es necesario contar con certificaciones sostenibles internacionales que acrediten la valoración ecológica del producto. En un ámbito globalizado, los requisitos y beneficios económicos varían de acuerdo al país o la región. En países del primer mundo como EE.UU., el costo de certificaciones como el *Buy Clean* o el *LEED v4* asciende a precios de hasta USD 30000 con un beneficio aproximado de USD 190.7 por tonelada de $CO_2$ verificado.

En cambio, en la Unión Europea (UE) el costo de adquisición de una certificación se estima en hasta 35000, tal es el caso del *BREEAM Materials Credit*, cuya obtención implica un estudio de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) y que preferentemente está respaldado por una Declaración Ambiental de Producto (EPD), consolidándose como un mercado muy exigente.

En cambio, en países en vías de desarrollo, los beneficios asociados a la producción y utilización de materiales de construcción sostenibles son limitados. Tal es el caso de Perú, que valora materiales de construcción sostenible bajo los sellos internacionales: Certificación SCS Recycled Content o UL Ecologo; sin embargo, supone un costo de entre USD 5000 y USD 8000 dependiendo del volumen de material reutilizado, que encarece en gran medida proyectos de construcción sostenible.

Por lo tanto, es indispensable analizar la viabilidad de un proyecto de estas características a lo largo del ciclo de vida del proyecto, desde la etapa de planificación hasta la distribución, y dentro de un ámbito de estudio más amplio es necesario comprender cómo estas barreras interactúan con la industria, las comunidades involucradas y los costos incurridos en el proceso (Metinal Yusuf Berkay & Ayalp Gumusburun Gulden, 2025).

# CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capitulo tiene como propósito analizar la correlación entre los costos de fabricación y las características sostenibles de los bloques elaborados con caucho reciclado, comparándolos con los bloques convencionales a partir de fichas técnicas desarrolladas en la empresa Eco-Blocks que integren factores técnicos y económicos.

## 2.1 Tipo, enfoque y métodos de investigación.

La presente investigación es de tipo descriptiva, comparativa y correlacional, clasificación acorde a los objetivos propuestos, analizar la correlación entre los costos de producción y el potencial sostenible de bloques convencionales frente a bloques con caucho reciclado.

La investigación es de carácter descriptivo, debido a que este tipo de estudios buscan especificar propiedades, características y rasgos específicos del fenómeno analizado (Montoya, 2019). Por tal motivo, las características distintivas entre bloques convencionales y los elaborados con caucho reciclado son objeto de estudio que son analizados bajo las variables de costo, resistencia, porcentaje de caucho utilizado y el potencial de sostenibilidad de los bloques de mampostería no estructural tipo B.

Bajo la misma premisa, el estudio adopta un alcance comparativo, dado que tiene como propósito establecer las diferencias entre dos tipos de materiales de construcción, por un lado, los bloques tradicionales elaborados con minerales naturales como la arena y la grava y por el otro, bloques elaborados con una proporción de 10%, 20% y 30% de caucho.

El autor (Tamayo & Tamayo, 2004) manifiesta que, la investigación comparativa permite identificar las semejanzas y diferencias entre fenómenos o grupos de estudio con el fin de establecer generalizaciones validas entre ambos. Este alcance es oportuno, dado que se requiere comparar los parámetros técnicos y económicos a fin de identificar ventajas competitivas que permitan posicionar un producto sostenible en un mercado internacional verde.

Y en concordancia con lo anterior, la investigación es correlacional, dado que se pretende determinar el grado de relación estadística entre las variables de costos de fabricación y la sostenibilidad de bloques con caucho reciclado. Además, se establece que los estudios correlacionales buscan conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos en una muestra o contexto en particular (Hernández et al., 2014).

**Enfoque de la investigación**

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, dado que el análisis de las variables se fundamenta en la recolección y el procesamiento de datos numéricos, los cuales favorecen las comparaciones y correlaciones de las mismas, que luego son expresadas y medidas matemáticamente (Hernández et al., 2014). Este enfoque corresponde al diseño metabólico buscado en el presente estudio.

De igual manera, la naturaleza de las variables del presente estudio tales como: los costos de fabricación, el porcentaje de caucho reciclado, la resistencia a la compresión, la densidad & peso del bloque y los indicadores de sostenibilidad ambiental, son variables que admiten una métrica objetiva, precisa y replicable, por tanto, se puede medir su correlación entre costos y sostenibilidad.

El enfoque aplicado permite replicar los resultados obtenidos a partir de las fichas técnicas, dado que los datos analizados están libres de sesgos subjetivos, lo que permite validad de mejor manera la hipótesis inicial: La incorporación de caucho reciclado de neumáticos en diferentes porcentajes (10%, 20% y 30%) como sustituto del agregado fino en la fabricación de bloques de mampostería no estructural Tipo B modifica significativamente sus propiedades físico-mecánicas y reduce el costo de producción en comparación con el bloque convencional.

**Métodos de investigación**

Para establecer el cumplimiento del objetivo específico se opta por la combinación de métodos que se articulan de manera lógica y complementaria tales como: descriptivo, comparativo y correlacional. El descriptivo permite caracterizar de forma detallada y sistémica los procesos de fabricación tanto de los bloques

tradicionales como de los bloques con caucho, el segundo método realiza una comparación de los resultados técnicos y económicos de ambos tipos de bloques.

De igual manera, el autor Bernal Torres, (2010), manifiesta que, el método comparativo permite identificar similitudes y diferencias de los elementos comparados, esto con el propósito de llegar a una conclusión general, identificar en que variables el bloque con caucho reciclado supera, iguala o resulta inferior al bloque tradicional. Y el método correlacional permite, determinar en qué grado el uso del caucho reciclado influye en los costos unitarios y la eficiencia ambiental del producto y en base a aquello elaborar propuestas de aceptación del producto en un contexto internacional.

**Población y muestra**

Se define como una población al conjunto de elementos que poseen ciertas características que se pretenden estudiar (Ventura-León, 2017). Para la presente investigación se considera como una población el total de las fichas técnicas elaboradas en base a las pruebas realizadas en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato (UTA), en la cual, se documentan los resultados obtenidos tanto de los bloques tradicionales como de los bloques con caucho reciclado. En el presente caso, la población es finita, debido al conjunto de registros técnicos y económicos que se obtienen, los cuales miden la resistencia, la composición, el proceso de producción y la estructura de costos de cada tipo de bloque.

Por tanto, debido a que las fichas técnicas desarrolladas son reducidas y accesibles se opta por realizar un censo, el cual permite estudiar la totalidad de los elementos que conforman la población sin necesidad de recurrir a técnicas de muestreo. Además, cuando la población es pequeña es más apropiada estudiarla metodológicamente en su totalidad, esto a fin de garantizar la representatividad total de la información obtenida (Tamayo, 2004).

**Variables de estudio.**

Las variables dependientes a considerar son; los costos de producción, en los que incurre, la mano de obra directa, costos indirectos de fabricación, resistencia a la compresión del bloque y los indicadores de sostenibilidad que corresponde a la reducción de residuos sólidos, reducción de la huella de carbono y el aprovechamiento de materiales reciclados. El autor Bernal (2010) menciona que, la variable dependiente es aquella que recibe el efecto de la variable independiente, siendo así el resultado o el fenómeno que se pretende estudiar. Por ende, en este caso tanto los atributos técnicos y ambientales son el resultado directo de la composición del bloque.

El estudio presenta una variable independiente y una dependiente, de la cual, la primera hace referencia al tipo de Bloque; tradicional o con caucho reciclado, en base a la composición del bloque se determina el costo de producción y el desempeño ambiental, siendo estas las variables dependientes. Por lo tanto, la variable independiente es el porcentaje de caucho incorporado en la mezcla, que son del 10%, 20% y 30%. Estas variables son analizadas en base a las fichas técnicas registradas y elaboradas por la empresa Eco-Blocks.

Para el análisis de estas variables se opta por herramientas como la aplicación de coeficientes de correlación de Pearson para las variables continuas, mientras que para el análisis de medias entre grupos se opta por el análisis de la varianza (ANOVA). Y de esta manera determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas.

**Instrumentos y técnicas de recolección de datos**

La recolección de datos se llevará a cabo mediante técnicas e instrumentos de carácter documental y estructurado, los cuales permiten sistematizar la información técnica y económica proveniente de las fichas técnicas. Además, se comprende que las técnicas de recolección de datos son las distintas formas de obtener información, y en cambio, los instrumentos son los medios que se emplean para recoger y almacenarlo.

Por tanto, los principales instrumentos utilizados en el presente estudio son los detallados a continuación:

Las fichas técnicas, constituyen el instrumento principal del estudio, puesto que concentran la mayor parte de la información requerida tales como: la composición de los materiales, su resistencia a la comprensión, las dimensiones, procesos de fabricación y especificaciones normativas para los bloques de mampostería no estructural tipo B y se elaboran en base a pruebas de laboratorio desarrollados en las instalaciones de la UTA. Estas fichas permiten recopilar datos comparables entre los bloques tradicionales y el bloque con caucho reciclado.

Matrices comparativas, este instrumento permite organizar y sintetizar las variables técnicas y económicas de ambas tipologías de bloque en un mismo espacio analítico. Su estructura permite identificar de mejor manera las similitudes, diferencias y tendencias entre las variables estudiadas.

Las tablas de costos permiten cuantificar los elementos principales del costeo de fabricación, tales como: mano de obra indirecta, materia prima, costos indirectos de fabricación y permitir así comparaciones más precisas sobre el cálculo de indicadores de eficiencia productiva.

**Herramientas de análisis y software.**

Se hace uso de herramientas informáticas especializadas para el procesamiento estadístico y económico de los datos recolectados, se garantizan precisión, reproducibilidad y la verificación de resultados. Para la selección de los softwares, se hace en base a los criterios de funcionalidad, accesibilidad, disponibilidad y pertinencia en cada etapa del estudio.

Se hace uso del Microsoft Excel, para emplearlo como herramienta principal en la tabulación, organización y representación gráfica de datos económicos y técnicos. Esta herramienta gracias a su versatilidad permite el manejo de hojas de cálculo que facilitan la visualización de los resultados y la comparación entre las variables de estudio.

## 2.2 Diagnóstico de la correlación entre costos de fabricación de bloques tradicionales con caucho reciclado tipo B.

Se tiene como objetivo comparar los costos de fabricación de bloques tradicionales frente a los elaborados con caucho reciclado a partir de las fichas técnicas desarrolladas en la empresa Eco-Blocks que integran factores técnicos y económicos.

### Parámetros de producción de bloques tipo B según las NTE INEN 3066.

La densidad de los materiales es crucial para mantener una estructura de costos más favorable para la exportación, se opta por materiales pétreos livianos como el chasqui y el polvo de piedra pomez como elementos principales en la elaboración de bloques, que conforme a las especificaciones técnicas de una volqueta sinotruk T7H 3257 con una capacidad de 14 m3 volumétricos, es capaz de cargar un aproximado de 9800 Kg de chasqui a un precio de 285 USD equivalente a 0.02908/kg y 14000 Kg de polvo de piedra pomez a un precio de 240 USD equivalente a 0.1714/kg.

El cemento utilizado es Armaduro, tipo IP, ASMT 595, con una densidad de 3.1 g/cm³, ideal para mezclas con caucho reciclado bajo las normas NTE INEN 490. Además, se adquieren 50 Kg de caucho a un precio de USD 0.55, dato evidenciado en el Anexo 2. A continuación, se detalla la densidad de cada material utilizado en el prensado y el peso por kilogramo en la tabla 5.

**Tabla 5.** Densidades y precios de referencia

| Materia prima | Densidad | Medida | Costo Unitario/Kg |
|---|---|---|---|
| **Chasqui — árido fino** | 700 | kg/m³ | $0,0291 |
| **Polvo de pómez — árido Fino** | 1.000 | kg/m³ | $0,0171 |
| **Caucho reciclado NFU** | 1.150 | kg/m³ | $0,5500 |
| **Cemento ARMADURO® IP** | 3.100 | kg/m³ | $0,1500 |

Fuente: elaboración propia a partir de la empresa Eco-Blocks

Además de la densidad, se tiene en cuenta el peso en kilogramos de los materiales, necesario para determinar el costo unitario y establecer una estructura de costos más eficiente y precisa. Se consideran necesarios otros elementos adicionales, como mano de obra, costos indirectos de fabricación, con el fin de establecer una

estructura de costos más realista con la empresa Eco-Blocks. Además, en la tabla 6 se establece la producción estimada de bloques por cada quintal de cemento Armaduro utilizado.

**Tabla 6.** Producción quintal Eco-Blocks

| INSUMO | VALOR UNITARIO | UNIDAD | CÁLCULO |
|---|---|---|---|
| **Cemento ARMADURO IP** | $7,50 | USD/qq | USD 7,50 ÷ 50 kg = USD 0,1500/kg |
| **Chasqui — árido fino** | $0,02908 | USD/kg | USD 285 ÷ 9.800 kg (14 m³ × 700 kg/m³) |
| **Polvo de pómez — árido grueso** | $0,01714 | USD/kg | USD 240 ÷ 14.000 kg (14 m³ × 1.000 kg/m³) |
| **Caucho reciclado NFU** | $0,55 | USD/kg | USD 632.5 ÷ 1.150 kg/m3 |
| **Mano de obra — peón** | $0,0412 | USD/bloque | USD 3,50/qq ÷ 85 bloques = USD 0,04118/bloque |
| **Energía eléctrica** | $0,00471 | USD/bloque | USD 60/mes ÷ 12.750 bloq/mes |
| **Agua de mezcla** | $0,000392 | USD/bloque | USD 5/mes ÷ 12.750 bloq/mes |
| **Rendimiento por quintal** | 85 | bloque/qq | Eco-Blocks |
| **Producción diaria** | 510 | bloque/día | 6 qq/día × 85 bloq/qq |

Fuente: elaboración propia a partir de la empresa Eco-Blocks

Después de identificar los costos en materia prima, se opta por establecer el análisis de las cantidades en kilogramos de cada elemento necesario en la producción de bloques evidenciado en el anexo 3, que por conveniencia, se dispone de las maquinarias y los equipos necesarias, evidenciado en el anexo 4, para la producción de pequeños lotes de 4 unidades de cada tipo de bloque tipo B, con agregados de caucho del 0%, 10%, 20% y 30% de Caucho Reciclado (CR), esto en relación al volumen del chasqui sustituido, dando como total 16 unidades producidas que son analizadas posteriormente en laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato (UTA) evidenciado en el anexo 5 y 6.

Las pruebas de ensayo se realizan a fin de determinar elementos como la resistencia a la compresión y la densidad, necesarios para obtener datos que permitan el avance del estudio de las variables centrales a tratar.

**Análisis y resultados en fichas técnicas de bloques mampostería no estructural tipo B.**

Cada ficha técnica integra el cálculo de costos con precios reales proporcionadas por la empresa Eco-Blocks, acorde a las propiedades técnicas exigidas por la

normativa NTE INEN 3066, además, se presentan los resultados de la resistencia media a la comprensión y las densidades ensayadas en los laboratorios. A continuación, se representa la información de cada ficha técnica de forma resumida mediante tablas.

**Tabla 7.** Ficha 1 bloque convencional 0% caucho

| **Código** | **ECO-CONV-D-001** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Nombre** | Bloque de Hormigón Convencional no estructural tipo B | | | |
| **Empresa / Ubicación** | Eco-Blocks | | | |
| **Norma de fabricación** | NTE INEN 3066 — Bloque Tipo B | | | |
| **Dimensiones nominales** | 395 mm × 195 mm × 145 mm | | | |
| **Cemento** | ARMADURO IP · 50 kg/saco | | | |
| **Árido fino** | Chasqui volcánico · densidad 700 kg/m³ | | | |
| **Árido fino** | Polvo de piedra pómez · densidad 1.000 kg/m³ | | | |
| **Dosificación** | 1:7:7 (Cemento, polvo pómez, chasqui) | | | |
| **MATERIA PRIMA** | | | | |
| | **kg/bloque** | **USD/kg** | **Subtotal USD** | **Nota** |
| **Cemento Armaduro** | 0,5882 | 0,15 | 0,0882 | 50 kg ÷ 85 bloques |
| **Chasqui** | 2,5941 | 0,02908 | 0,0754 | USD 285 / 9.800 kg |
| **Polvo de pómez** | 3,7059 | 0,01714 | 0,0635 | USD 240 / 14.000 kg |
| **Caucho reciclado NFU** | 0 | — | 0 | No aplica. |
| **Mano de obra** | — | USD 3,50/qq | 0,0412 | USD 3,50 ÷ 85 bloques/qq |
| **Energía eléctrica** | — | USD 60/mes | 0,0047 | USD 60 ÷ 12.750 bloques/mes |
| **Agua de mezcla** | — | USD 5/mes | 0,000392 | USD 5 ÷ 12.750 |
| **COSTO TOTAL / BLOQUE** | — | — | 0,2735 | USD / bloque |
| **PROPIEDAD TÉCNICA** | | | | |
| | **VALOR** | **UNIDAD** | **REFERENCIA** | |
| **Resistencia compresión 28d** | 3.9 | MPa | Empresa Eco-Blocks | |
| **Mínimo NTE INEN 3066 Tipo B** | ≥ 4,0 | MPa | NO CUMPLE | |
| **Densidad aparente estimada** | **10.45** | kg | Pómez volcánica: ideal por menor peso de flete | |

Fuente: elaboración propia a partir de la empresa Eco-Blocks

De acuerdo a la interpretación de la tabla 7, se estima que un bloque convencional tiene un costo de USD 0.2735, esto considerando los áridos volcánicos naturales, cuenta con una resistencia media de 3.9 MPa, que no cumple con el mínimo NTE INEN 3066 tipo B exigido. Se presenta una densidad media de 10.45 kg que representa un peso elevado con respecto a los estándares óptimos para una

exportación. Además, se toma este bloque convencional como referencia de la resistencia inicial y la sustitución posterior del árido fino por gránulos de caucho

**Tabla 8.** Ficha 1 bloque caucho reciclado 10% caucho

| **Código** | **ECO-CR10-D-002** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Nombre** | Bloque Tipo B con Caucho Reciclado 10 % (CR10) | | | |
| **Empresa / Ubicación** | Eco-Blocks | | | |
| **Norma** | NTE INEN 3066 — Bloque Tipo B | | | |
| **Sustitución caucho** | 10 % en volumen del árido fino (Chasqui) | | | |
| | **MATERIA PRIMA** | | | |
| | **kg/bloque** | **USD/kg** | **Subtotal USD** | **Nota** |
| **Cemento ARMADURO® IP** | 0,5882 | 0,15 | 0.0882 | 50 kg ÷ 85 bloques |
| **Chasqui árido fino (90 %)** | 23.347 | 0,02908 | 0.0679 | 2,5941 × 0.9 = 2.3347 kg |
| **Polvo de pómez árido grueso** | 3,7059 | 0,01714 | 0.0635 | Constante, no se sustituye |
| **Caucho reciclado NFU (10 %)** | **0.4262** | **0,55** | **0.2344** | Sust. vol. × (1.150/700) densidades |
| **Mano de obra** | — | USD 3,50/qq | 0,0412 | 3,50 ÷ 85 bloques/qq |
| **Energía eléctrica** | — | USD 60/mes | 0,0047 | USD 60 ÷ 12.750 bloques/mes |
| **Agua** | — | USD 5/mes | 0,000392 | USD 5 ÷ 12.750 bloques/mes |
| **COSTO TOTAL / BLOQUE** | — | — | **0.5003** | USD / bloque |
| **Δ vs. bloque convencional** | — | — | **+0.22685 (+82.95 %)** | Caucho más caro que áridos volcánicos |
| | **PROPIEDAD TÉCNICA** | | | |
| | **VALOR** | **UNIDAD** | **REFERENCIA** | |
| **Resistencia compresión 28d** | 3.1 | MPa | Empresa Eco-Blocks | |
| **Minimo NTE INEN 3066 Tipo B** | ≥ 4,0 | MPa | NO CUMPLE | |
| **Densidad aparente estimada** | **9.55** | kg | Ideal por menor peso de flete | |

Fuente: elaboración propia a partir de la empresa Eco-Blocks

En la tabla 8 se estima un incremento del costo en un 82.95% en referencia al bloque convencional dando una nueva valoración de USD 0.5003, este aumento corresponde al uso del caucho reciclado en la proporción del 10%. Su implementación supone un incremento del 0.22685 en el costo total. El bloque CR 10% cuenta con una resistencia media de 3.1 MPa y una densidad de 9.55 kg, ideal como característica favorable para la disminución del flete en una exportación.

**Tabla 9.** Ficha 1 bloque caucho reciclado 20% caucho

| **Código** | **ECO-CR20-D-003** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Nombre** | Bloque Tipo B con Caucho Reciclado 20 % (CR20) | | | |
| **Empresa / Ubicación** | Eco-Blocks | | | |
| **Norma** | NTE INEN 3066 — Bloque Tipo B | | | |
| **Sustitución caucho** | 20 % en volumen del árido fino (Chasqui) | | | |
| | **MATERIA PRIMA** | | | |
| | **kg/bloque** | **USD/kg** | **Subtotal USD** | **Nota** |
| **Cemento ARMADURO® IP** | 0,5882 | 0,15 | 0.0882 | 50 kg ÷ 85 bloques |
| **Chasqui árido fino (80 %)** | 20.753 | 0,02908 | 0.0604 | 2,5941 × 0.8 = 2.0753 kg |
| **Polvo de pómez árido grueso** | 3,7059 | 0,01714 | 0.0635 | Constante, no se sustituye |
| **Caucho reciclado NFU (20 %)** | **0.8524** | **0,55** | **0.4688** | Sust. vol. × (1.150/700) densidades |
| **Mano de obra** | — | USD 3,50/qq | 0,0412 | 3,50 ÷ 85 bloques |
| **Energía eléctrica** | — | USD 60/mes | 0,0047 | 60 ÷ 12.750 bloques/mes |
| **Agua** | — | USD 5/mes | 0,000392 | 5 ÷ 12.750 bloques/mes |
| **COSTO TOTAL / BLOQUE** | — | — | **0.7272** | USD / bloque |
| **Δ vs. bloque convencional** | — | — | **+0.45371 (+165.90 %)** | Caucho más caro que áridos volcánicos |
| | **PROPIEDAD TÉCNICA** | | | |
| | **VALOR** | **UNIDAD** | **REFERENCIA** | |
| **Resistencia compresión 28d** | 2.25 | MPa | Empresa Eco-Blocks | |
| **Mínimo NTE INEN 3066 Tipo B** | ≥ 4,0 | MPa | NO CUMPLE | |
| **Densidad aparente estimada** | **8.63** | kg | Ideal por menor peso de flete | |

Fuente: elaboración propia a partir de la empresa Eco-Blocks

De acuerdo con la tabla 9, se presenta un incremento del costo superior al anterior, de un 165,90%, dando como resultado un aumento de USD 0.45371 frente al bloque convencional. El bloque CR 20% tiene un costo de USD 0.7272, cuenta con una resistencia a la comprensión media de 2.25 MPa, resultando en una disminución frente al bloque CR 10% y presenta una densidad de 8.63 kg lo cual supone, una ventaja con respecto a la disminución del peso del flete, además, se evidencia una constante creciente del incremento del costo a medida del aumento de la sustitución del árido fino chasqui por el caucho.

**Tabla 10.** Ficha 1 bloque caucho reciclado 10% caucho

| **Código** | **ECO-CR30-D-004** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Nombre** | Bloque Tipo B con Caucho Reciclado 30 % (CR30) | | | |
| **Empresa / Ubicación** | Eco-Blocks | | | |
| **Norma** | NTE INEN 3066 — Bloque Tipo B | | | |
| **Sustitución caucho** | 30 % en volumen del árido fino (Chasqui). | | | |
| | **MATERIA PRIMA** | | | |
| | **kg/bloque** | **USD/kg** | **Subtotal USD** | **Nota** |
| **Cemento ARMADURO® IP** | 0,5882 | 0,15 | 0.0882 | 50 kg ÷ 85 bloques |
| **Chasqui árido fino (70 %)** | 18.159 | 0,02908 | 0.0528 | 2,5941 × 0.7 = 1.8159 kg |
| **Polvo de pómez árido grueso** | 3,7059 | 0,01714 | 0.0635 | Constante — no se sustituye |
| **Caucho reciclado NFU (30 %)** | **12.785** | **0,55** | **0.7032** | Sust. vol. × (1.150/700) densidades |
| **Mano de obra** | — | USD 3,50/qq | 0,0412 | 3,50 ÷ 85 bloques |
| **Energía eléctrica** | — | USD 60/mes | 0,0047 | 60 ÷ 12.750 bloq/mes |
| **Agua** | — | USD 5/mes | 0,000392 | 5 ÷ 12.750 bloq/mes |
| **COSTO TOTAL / BLOQUE** | — | — | **0.9540** | USD / bloque |
| **Δ vs. bloque convencional** | — | — | **+0.68056 (+248.85 %)** | Caucho más caro que áridos volcánicos |
| | **PROPIEDAD TÉCNICA** | | | |
| | **VALOR** | **UNIDAD** | **REFERENCIA** | |
| **Resistencia compresión 28d** | 1.55 | MPa | Empresa Eco-Blocks | |
| **Mínimo NTE INEN 3066 Tipo B** | ≥ 4,0 | MPa | NO CUMPLE | |
| **Densidad aparente estimada** | **7.74** | kg | Ideal por menor peso de flete | |

Fuente: elaboración propia a partir de la empresa Eco-Blocks

Con base en la tabla 10, se repite y se confirma una constante creciente. El incremento de la sustitución del caucho supone un aumento en el costo de producción del bloque. La sustitución del 30% de árido fino chasqui por caucho reciclado supone un incremento muy superior del 248,85%, dando como resultado un aumento de USD 0,68 frente al bloque convencional. El bloque CR 30% tiene un costo de USD 0.954. Sin embargo, también se presenta una constante decreciente de la resistencia a la compresión del bloque, que en este caso tiene una media de 1.55 MPa, además, la densidad es mucho menor frente a los bloques

con CR anteriores con 7.74 kg, siendo en mayor importancia una característica futura a considerar.

## Matriz comparativa, análisis técnico – económico integral.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las fichas técnicas se procede a realizar el análisis correlacional en la tabla 11.

**Tabla 11.** Correlación de las variables.

| VARIABLE / INDICADOR | CONV. 0% | CR 10% | CR 20% | CR 30% |
|---|---|---|---|---|
| **MATERIALES POR BLOQUE** | | | | |
| **Chasqui árido fino (kg)** | 2,5941 | 2,3347 | 2,0753 | 1,8159 |
| **Polvo pómez árido fino (kg)** | 3,7059 | 3,7059 | 3,7059 | 3,7059 |
| **Caucho reciclado NFU (kg)** | 0 | 0,4262 | 0,8524 | 1,2785 |
| **COSTOS (USD/bloque)** | | | | |
| **Costo cemento** | 0,0882 | 0,0882 | 0,0882 | 0,0882 |
| **Costo Chasqui árido fino** | 0,0754 | 0,0679 | 0,0604 | 0,0528 |
| **Costo polvo pómez** | 0,0635 | 0,0635 | 0,0635 | 0,0635 |
| **Costo caucho reciclado** | 0 | 0,2344 | 0,4688 | 0,7032 |
| **Costos fijos** | 0,0462 | 0,0462 | 0,0462 | 0,0462 |
| **COSTO TOTAL** | **0,2735** | **0,5003** | **0,7272** | **0,954** |
| **Aumento costo/caucho** | Ref. | **0,2268** | **0,4537** | **0,6805** |
| **Costo CR vs. convencional** | 0,00% | 82,95% | 165,90% | 248,85% |
| **Costo por qq producido** | 23,25 | 42,53 | 61,81 | 81,09 |
| **Costo extra anual (153.000 bloq.)** | **—** | **USD 34.710** | **USD 69.420** | **USD 104.127** |
| **PROPIEDADES TÉCNICAS** | | | | |
| **Resistencia compresión 28d (MPa)** | 3.90 | 3.10 | 2.25 | 1.55 |
| **CUMPLE Normativa colombiana NTC 4076 (6 MPa)** | NO | NO | NO | NO |
| **CUMPLE NTE INEN 3066 Tipo B (4 MPa)** | NO | NO | NO | NO |
| **CUMPLE Bloque NP de la Norma E.070 (2 MPa)** | SÍ | SÍ | SÍ | NO |

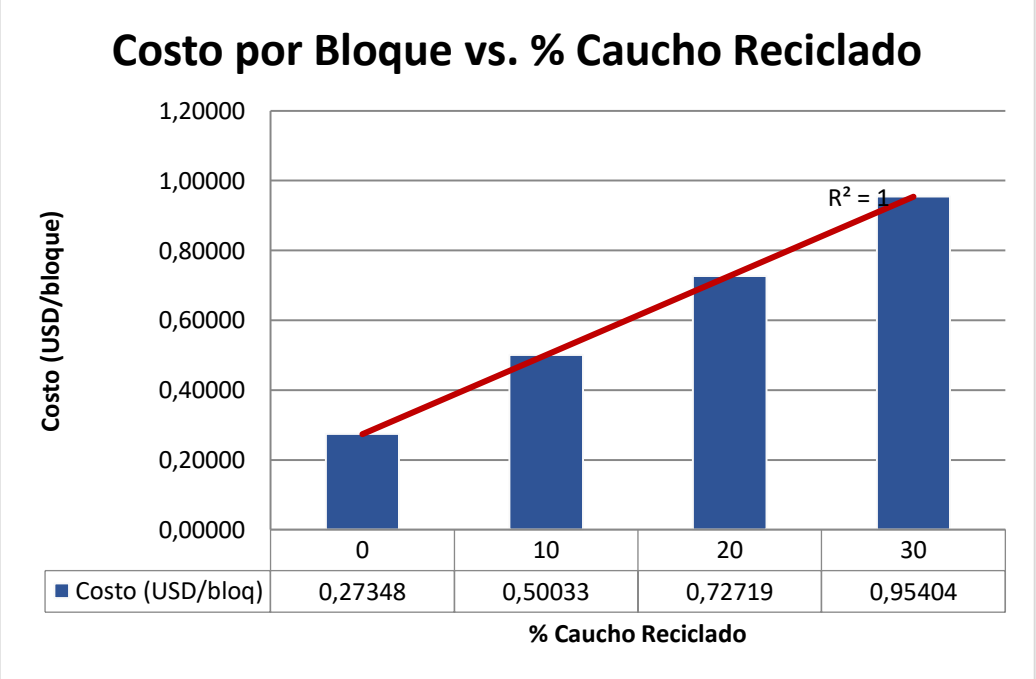
Fuente: elaboración propia a partir de la empresa Eco-Blocks

Un análisis de la tabla 11 indica que el costo del árido fino cae progresivamente de USD 0.0754 en el bloque convencional a USD 0.0528 en el bloque CR30 en todo el rango de sustitución. En cambio, el caucho tiene una escala de aumento del costo de USD 0 a USD 0.7032 entre el bloque convencional y el bloque con CR 30% y con esta asimetría se demuestra cuantitativamente que el caucho reciclado no compensa su costo unitario con la cantidad de agregado que desplaza, mientras

tanto, el polvo pomez y el cemento Armaduro se mantienen constantes en todas las etapas de producción.

En términos de quintal producido, se proyecta un incremento gradual del costo que va desde USD 23.25 (Bloque CR 0%) hasta USD 81.09 (CR 30%) que, en una producción anual, representa cifras significativas a considerar. De igual manera queda determinada que existe una correlación lineal negativa entre el aumento de la proporción de caucho y la reducción de la resistencia a la comprensión de los bloques, dicho análisis se fundamenta a través del análisis de las varianzas y se representa ilustrativamente en la figura 1

Figura 1: Línea de tendencia correlación costo-%caucho




Fuente: elaboración propia

La grafica anterior evidencia el aumento del costo de bloque a medida del incremento de la proporción del caucho, por tanto, el análisis demuestra que el caucho es entre 30 y 32 veces más caro por kilogramo que se reemplaza volumétricamente, incrementando sustancialmente la estructura de costos del bloque.

Este resultado constituye evidencia que matiza la hipótesis de la investigación, por tanto, la causalidad del incremento del costo en la producción de bloques con

caucho reciclado, radica en la diferencia de precios del granulo de caucho de los NFU (USD 0,55/Kg) con relación a los áridos finos de la provincia de Tungurahua (chasqui USD 0.02908 /kg; polvo pómez: USD 0.01714/kg).

**Análisis de costos beneficio - sostenibilidad**

En concordancia a lo anterior, el análisis de correlación de Pearson entre la variable independiente, el porcentaje de caucho, y la variable dependiente, el costo de fabricación por bloques, da un coeficiente $r = +1$ ($p < 0,01$), con un coeficiente de determinación $R^2 = 1$, indicando una relación lineal perfecta y positiva. La interpretación del modelo de regresión obtenido es: costo (USD/bloque) = 0,2735 + 0,02269 × %CR, dando a entender que cada punto porcentual de caucho reciclado adicional incrementa el costo del bloque en USD 0.02269.

Este análisis de la correlación no es un dato aislado, sino el insumo cuantitativo directo del indicador de costo efectividad ambiental que sustenta la recomendación de mercado verde de la investigación, aunque el sobrecosto es real y creciente, el beneficio ambiental de reducción de emisiones de $CO_2$, resulta competitiva frente a *benchmarks* de mercados sostenibles que buscan reducir la huella de carbono.

Por tanto, el hallazgo no invalida la hipótesis inicial, ni la viabilidad del producto; al contrario, reorienta el análisis hacia mercados internacionales verdes, mercado objetivo que se pretende realizar una propuesta de exportación, dicho mercado considera el valor de la sostenibilidad certificable por encima del precio del producto.

Es importante destacar el beneficio ambiental como un elemento en la valoración sostenible de la empresa, debido a que en el ámbito regulatorio y corporativo es un beneficio adicional a considerar, el procesamiento del bloque con caucho reciclado representa el crédito por incineración evitada de -1.69 Kg $CO_2$/kg de NFU (Xiong et al., 2024). Sin embargo, se tiene un matiz importante a considerar, este beneficio es complicado retribuirlo en cifras económicas, debido a que cada nación tiene normativas distintas acerca de la gestión de residuos, limitante que impide el calculo del beneficio-económico ambiental a nivel general. Aun así, se valora y se

demuestra a continuación que el uso del caucho es favorable en la reducción de las emisiones de $CO_2$ del mundo.

Se comprende que, por cada kilogramo de caucho utilizado en el concreto, se evita la quema futura de los NFU, reduciendo a su vez el impacto negativo. Cabe recalcar que dicha reducción depende únicamente del contenido del cemento aplicado. La literatura indica que una mayor adición de cemento que compense la pérdida de la resistencia del bloque por el uso del caucho reciclado anula las ganancias ambientales, debido a que el cemento es el elemento más contaminante de la construcción y su aplicación en cualquier mezcla emite 0,90 $CO_2$/Kg; por ello, la importancia de mantener una aplicación constante de cemento independientemente de la aplicación de CR.

Por lo antes mencionado, se evidencia el potencial sostenible del producto que de acuerdo a las capacidades productivas de la empresa Eco-Blocks, se establecen dos escenarios de sostenibilidad acerca del balance de la reducción de $CO_2$ propuesto por la literatura en la tabla 12.

**Tabla 12.** Escenarios de valoración sostenible

| Escenario | Sistema | Supuesto sobre el destino del NFU |
|---|---|---|
| **Optimista (A)** | Producción + Fin de vida del residuo. | Se asume que el caucho reciclado evita la incineración de los NFU, que ahorran emisiones de $CO_2$. |
| **Conservador (B)** | Solo toma en cuenta la producción. | Se valora solo como materia prima sin considerarlo como un beneficio ambiental adicional. |

Fuente: elaboración propia

Por tanto, en el escenario conservador no se reducen las emisiones de fabricación, sino en su caso se incrementan ligeramente como representan a continuación en la tabla 13.

**Tabla 13.** Emisiones de carbono, bloques con CR

| Formulación | kg caucho/bloque | $CO_2$ producción (kg/bloque) | CR vs. convencional |
|---|---|---|---|
| **Convencional** | 0,000 | 0,6877 | Referencia |
| **CR 10 %** | 0,4262 | 0,7299 | **+6,14 %** |
| **CR 20 %** | 0,8524 | 0,7721 | **+12,28 %** |
| **CR 30 %** | 1,2785 | 0,8143 | **+18,41 %** |

Fuente: elaboración propia a partir de (Xiong et al., 2024)

En relación a lo anterior, se comprende que las emisiones de fabricación de $CO_2$ hacen referencia a la cantidad de dióxido de carbono liberada a la atmósfera

durante la producción de un producto, esto considerando las emisiones directas o indirectas tales como el transporte de materia prima o el uso de energía eléctrica. Por tanto, el escenario conservador no representa ningún crédito de fin de vida sino un incremento moderado de la huella de fabricación. En cambio, en el escenario optimista se estima que el kilogramo de caucho utilizado ya no es incinerado en el futuro, dando como resultado un balance invertido favorable como se indica en la tabla 14.

**Tabla 14.** Correlación de Pearson

| Formulación | Producción (kg) | Crédito EoL (kg) | Balance neto (kg/bloque) |
|---|---|---|---|
| **Convencional** | 0,6877 | 0 | 0,6877 |
| **CR 10 %** | 0,7299 | −1,2317 | **−0,5018** |
| **CR 20 %** | 0,7721 | −2,4633 | **−1,6912** |
| **CR 30 %** | 0,8143 | −3,6949 | **−2,8807** |

Fuente: elaboración propia a partir de (Xiong et al., 2024)

Se comprende que la producción de una unidad de bloque convencional produce 0,6877 kg $CO_2$, por tanto, a medida que se incorpora caucho se consumen recursos, que conlleva el incremento de las emisiones de fabricación, sin embargo, en contraste se asigna un crédito fin de vida (EoL) debido a que se supone que el caucho utilizado evita la incineración de neumáticos, por tanto, el valor negativo señala que el bloque evita más emisiones de las que genera. Bajo la misma lógica a medida del aumento del uso del caucho, se evita una cantidad importante de emisiones provenientes de la incineración de neumáticos, lo que supone que un bloque elaborado con CR reduce en más de cinco veces su propia huella de fabricación.

Por tanto, a mayor porcentaje de caucho reciclado, mayor es la reducción de $CO_2$, por ende, mayor cantidad de neumáticos reciclados. Y cabe recalcar que, la comercialización de este producto no se ve comprometida hacia mercados internacionales verdes por las razones detalladas a continuación.

La eficiencia ambiental del bloque CR20 es de USD -1.69 por kg $CO_2$ evitado, este valor puede ser absorbida por el etiquetado de precio verde premium, validación ampliamente documentada y aceptada en el mercado internacional de materiales sostenibles.

Se documenta que el concreto con caucho triturado puede comercializarse con un sobreprecio del 7% en mercados de Asia Pacífico precisamente por el valor ambiental, mientras que los mercados LEED/BREEAM de América del Norte y Europa aceptan sobreprecios del 15–30 % para materiales con contenido reciclado verificable. (Xiong et al., 2024). Sin embargo, las elevadas exigencias que miden la eficiencia estructural y resistencia de los materiales de construcción descartan e imposibilitan la introducción del bloque CR20% en mercados sostenibles europeos y americanos.

**Conclusiones del análisis correlacional.**

La hipótesis inicial sostiene que el caucho reciclado reduce los costos de producción, sin embargo, los datos reales de la empresa Eco-Bloks demuestran que el uso de caucho NFU a un precio de USD 0.55/kg es más costoso que los áridos volcánicos convencionales. No obstante, la dimensión sostenible de la investigación cumple parcialmente el objetivo de sostenibilidad por medio del bloque 20% CR, debido a su contribución en la reducción de la huella de carbono, sin embargo, su exportación hacia mercados internacionales verdes es visiblemente imposible, aunque, existen casos de naciones que cuentan con requisitos menos exigentes de propiedades de resistencia, como es el caso de Perú, presentado en el capítulo 1.

En la estructura de costos, se demuestra que los bloques convencionales son más económicos y el bloque CR 30% es el más costoso y menos resistente, pero potencialmente el más sostenible. De igual manera, la correlación entre el porcentaje de caucho utilizado y el $CO_2$ evitado también es positiva, cada centavo adicional invertido en la formulación con caucho reciclado genera un retorno ambiental cuantificable y verificable, todo el análisis de estos resultados se evidencian en el (Anexo 7.- Eco-Blocks.xlsx). Finalmente, el bloque CR 20% representa el mejor equilibrio entre costo incremental y contenido reciclado certificable, reconociéndose como el producto recomendado para la propuesta de exportación,

## 2.3 Caracterización de la empresa Eco-Blocks

### Parámetros base de caracterización de la empresa Eco-Blocks.

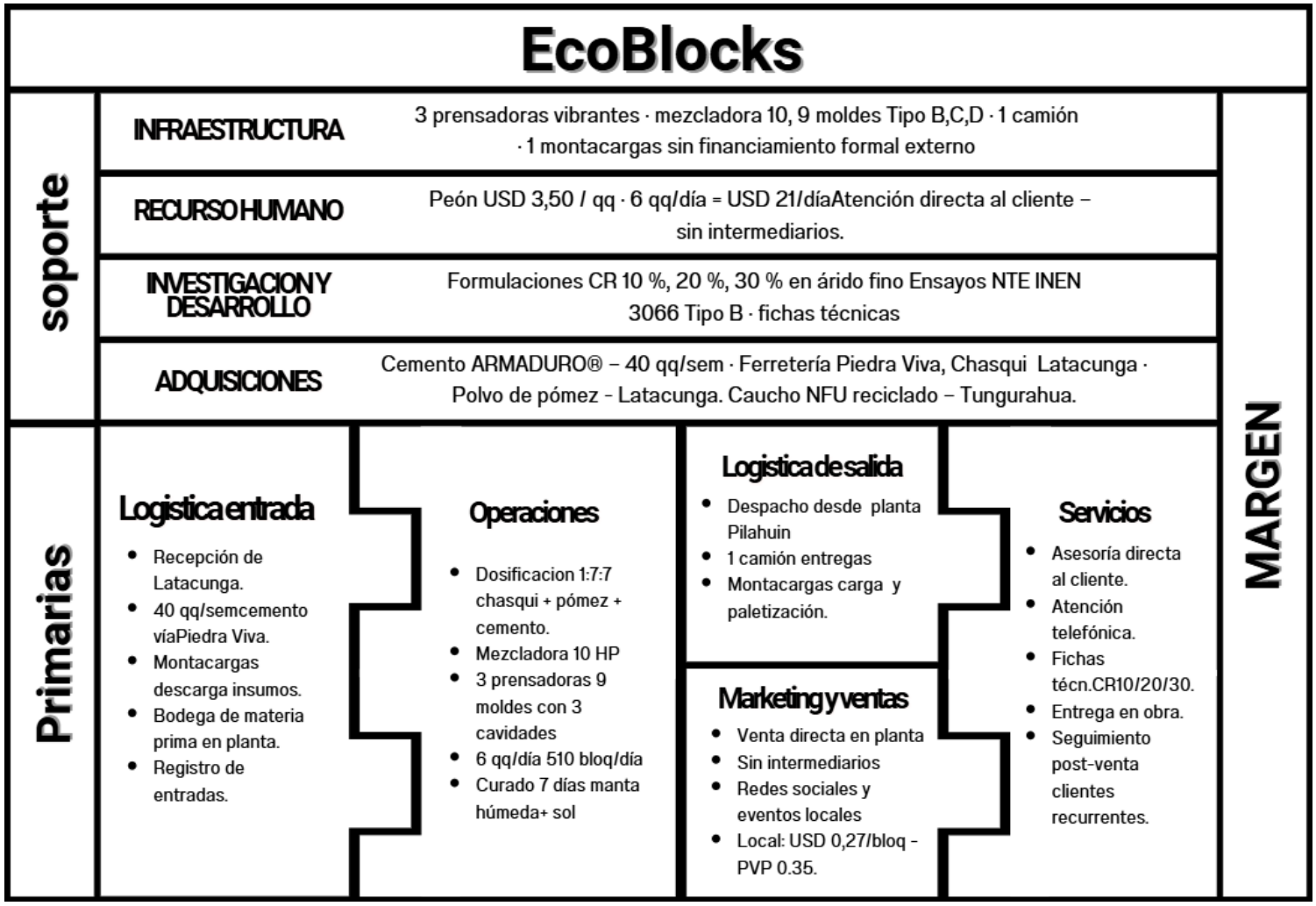
La empresa está ubicada en la Parroquia Pilahuin, Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua a dos cuadras del mercado Pucara Grande, a una altitud aproximada de 3400 metros sobre el nivel del mar. Su objeto social es la fabricación y distribución de bloques de hormigón, caracterizados por su sistema productivo que emplea una dosificación de 1:7:7 con recipiente de 0.1575 m3, rindiendo una producción de 85 unidades de bloques por quintal de cemento Armaduro 50kg empleado. Su producción es de 6 quintales diarias, equivalente a 510 bloques por jornada de trabajo, representado una producción de 12.750 bloques mensuales y 153.000 bloques anuales respectivamente, tomando en consideración los 300 días laborables del año.

Como se evidencia en los cálculos del costo unitario en la producción de bloques, los dos áridos livianos principales son el chasqui volcánico y el polvo de piedra pómez, por su conveniencia en precio y ubicación son ideales para reducir la densidad del bloque resultante. La naturaleza volcánica y la baja densidad de los áridos livianos en relación a los áridos convencionales de cantera, ofrecen una ventaja adicional para la exportación de bloques con caucho reciclado tipo B.

Un menor peso del bloque permite incrementar la capacidad de unidades a transportar, favoreciendo el costo del flete. Sin embargo, la capacidad de la empresa Eco-blocks para acceder a mercados internacionales verdes requiere un análisis multidimensional que contemple, una producción de bloques con caucho reciclado a gran escala, la disponibilidad de materia prima local sostenible, el cumplimiento de normativas internacionales requeridas para obtener una certificación sostenible y la competitividad de costos al mercado objetivo al que se pretende llegar.

Para tener un panorama más claro de la empresa se opta por realizar una cadena de valor, modelo que análisis estratégico que indica el conjunto de actividades que realiza Eco-Blocks para diseñar, producir, comercializar, entregar y respaldar los productos, aspectos que se ilustran en la figura 2.

Figura 2: Cadena de valor de la empresa Eco-Blocks.




Fuente: elaboración propia a partir de la empresa Eco-Blocks.

La grafica anterior indica una infraestructura básica sin financiamiento formal, para la correcta distribución y comercialización de los bloques producidos a nivel local, que cuenta con tres máquinas prensadoras, una mezcladora que optimiza los tiempos de preparación de la mezcla, dispone de un montacargas y un camión plataforma. Además, la adquisición del cemento Armaduro esta articulada con la Ferretería Piedra Viva un aliado local y los áridos finos volcánicos con minas de Latacunga y Salcedo.

**Producto propuesto para exportación y sus limitantes**

La limitante más notoria en la etapa de exportación corresponde a la obtención de certificaciones del producto, no solo basta con cumplir con la exigencia normativa NTE INEN 3066 del Ecuador, el reto supone la financiación de costos de certificaciones internacionales que oscilan precios entre USD 2.500 y 4.000 hacia mercados verdes premium como EE.UU., por tanto, el margen de ganancia no absorbe los costos únicos de certificación y las pruebas de ensayo, en cambio se necesitan más cantidades de contenedores para recuperar la inversión inicial.

En relación con lo anterior, se necesita como requisito previo un mercado y un cliente internacional dispuesto a mantener una consistencia de importación o una cantidad elevada de bloques con CR que fortalezcan la viabilidad económica, dichos mercados tienen como requisito previo una serie de normativas verificables y estrictas acerca de la resistencia del producto y certificaciones de origen que garanticen el potencial sostenible del mismo.

En todo el proceso de exportación es necesario contar con un capital de trabajo que financie todo el ciclo de exportación, se estima que, entre la producción, la certificación inicial y el cobro se tiene un plazo de treinta a sesenta días después del embarque, acorde a los términos de acuerdo aplicados y negociados: crédito documentario o cuenta abierta. Lo anterior representa un inconveniente para una empresa que no cuenta con una fuente de financiamiento, tal como se evidencio en la cadena de valor anterior. Para Eco-Blocks resulta complicado financiar el proceso sin ayuda de ingresos intermediarios.

Por todo lo anterior, Eco-Blocks demuestra altibajos en términos financieros y operaciones, limitante a considerar para el volumen de demanda exigente a nivel internacional. Por razones de tecnología y capacidad financiera, actualmente Eco-Blocks no está en capacidad de producir bloques con CR a gran escala para su comercialización hacia mercados internacionales verdes, por tal razón, se opta por propuestas que permitan la incorporación del producto en nichos de mercado sostenibles y accesibles. Eco-Blocks necesita un sistema de producción más avanzado, una cadena de distribución más sofisticada, aspectos regulatorios y aduaneros para una propuesta de exportación del producto, aspecto a analizar en el siguiente capitulo.

# CAPÍTULO III. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION Y PROPUESTA DE EXPORTACION.

En este capítulo se aborda la elaboración de una propuesta técnica y económica que permita la incorporación de bloques ecológicos con caucho reciclado hacia mercados internacionales verdes, ofreciendo una alternativa de reutilización viable y sostenible con el medio ambiente y la empresa.

## 3.1 Análisis y valoración de fases necesarias para la propuesta de exportación del bloque tipo B con CR.

El producto recomendado para la propuesta de estudio es el bloque con contenido del CR 20%, producto que se constituye frente al convencional con un equilibrio óptimo entre contenido de caucho reciclado verificable y costo de producción, con una resistencia mecánica promedio de 2.25 MPa, que cumple con el mínimo normativo de 2 MPa exigido en Perú. Siendo su costo de USD 0.7272/bloque, la cual establece una base competitiva para mercados donde el rango de precios oscila entre USD 0.90 y USD 1.30.

Es importante negociar con clientes potenciales comprometidos en el producto, aspecto, aunque complicado en un ámbito donde la relación precio y calidad es altamente valorada, se pretende hacer una propuesta de exportación en colaboración con una empresa local del mercado objetivo, que para fines de este estudio se valora a la empresa MP Recicla S.A.C., empresa fundada en el año 2015 que opera bajo su marca CICLO con el propósito de reducir el impacto ambiental del sector de la construcción bajo principios de economía circular, bastece al sector de la construcción con la fabricación de eco materiales a partir de residuos de construcción y demolición (RCD).

Dicha empresa dentro de su catálogo no incluye bloques procesados con caucho reciclado, por lo que se la valora como un aliado estratégico antes que un potencial competidor, debido a que se puede comercializar el bloque con CR 20% a través de su marca. Por lo anterior, debido a la ausencia de productos fabricados en base al procesamiento de caucho reciclado, se evidencia una oportunidad de nicho de mercado en Perú con potencial de desarrollo.

Antes de lanzar el producto hacia el mercado internacional y avalar una propuesta de exportación, primero, se prioriza cumplir con una serie de fases previas, siendo la primera y más importante cumplir los ensayos del Reglamento E.070 en un laboratorio acreditado, con un valor que ronda los USD 113, respaldo del producto en el mercado peruano.

Además, es necesario tener un registro de exportador en el Servicio Nacional de Aduanas del Ecuador (SENAE), por consiguiente, contar con una subpartida arancelaria internacional, 6810.11.00, el cual es utilizada para clasificar bloques y ladrillos para la construcción fabricados a base de cemento, o piedra artificial ya sean reforzados o no, estos requisitos previos son necesarios en las regulaciones aduaneras y cálculo de impuestos.

De acuerdo al mercado objetivo al que se pretende llegar, Perú, se busca estimar las cantidades de bloques con CR aproximadas que contiene un contenedor de 40 pies, necesaria para la declaración de la documentación de exportación tales como: el *packing list* y la factura comercial. Considerando que la empresa Eco-Blocks actualmente cuenta con una capacidad limitada de producción, se pretende calcular una proyección favorable de producción de bloques con CR para cubrir los costos logísticos y aduaneros que se estiman.

Una ventaja diferencial y notable de los bloques con caucho reciclado en relación con los bloques tradicionales es su baja densidad, se conoce que la densidad media de 4 bloques con CR 20% es 8.63 Kg, dato proveniente de las pruebas de laboratorio. Tomando en cuenta que la capacidad de un container de 40 pies es de 25.000 hasta 27.000 kilogramos, se estima que tiene una capacidad de carga de 2900 bloques, que cuentan con una densidad de carga total de 25.027 Kg, ideal para tener un margen de seguridad y no exceder el límite máximo recomendado de 26.500 kg.

## 3.2 Análisis de costos y elaboración de la propuesta de exportación del bloque tipo B con caucho reciclado.

Una vez dado la capacidad de carga de un contenedor, se procede a estimar los costos que recurren en la operación de una exportación que en el presente caso se lo hace por vía marítima desde el puerto de Guayaquil hasta el puerto de Callao ubicado junto a Lima, que conlleva el análisis de los costos fijos y variables del transporte con los trámites correspondientes en aduana.

Se hace una aclaración importante, el valor económico potencial asociado a la reducción de emisiones de $CO_2$ respaldadas con certificaciones internacionales, no se considera pertinente incluirlo en los cálculos, debido a que, en una etapa inicial de exportación es contraproducente invertir en certificaciones que se consideran como un costo adicional por separado, que encarece en gran medida el precio final del producto.

Las empresas ecuatorianas suelen conseguir certificación por medio de programas internacionales como la *International EPD System*, que después de una serie de pasos detallados en la tabla 15 certifican la información ambiental del producto; si es objetiva, verificable y elaborada conforme a normas internacionales.

**Tabla 15:** Estimación de costos de una certificación para Eco-Blocks

| Concepto | Costo estimado (USD) |
|---|---|
| Análisis de Ciclo de Vida (ACV/LCA) | 4.000 – 8.000 |
| Elaboración de la EPD | 2.000 – 4.000 |
| Verificación por tercera parte | 2.500 – 3.500 |
| Registro y publicación de la EPD | 1.200 – 2.000 |
| Costo total estimado | 9.700 – 17.500 USD |

**Fuente:** elaboración propia

La certificación del producto a la que aplica la empresa Eco-Blocks tiene un costo elevado, este valor no representa una inversión de retorno rápido y se descarta en su totalidad. Sin embargo, CICLO posee trayectoria en el ámbito de la sostenibilidad, es miembro del *Perú Green Building Council* y es reconocida con los Premios Latinoamérica Verde, lo que confirma que opera en el ecosistema de construcción sostenible donde el bloque CR20 puede comercializarse bajo su

marca, siendo ellos en última instancia los encargados de obtener las certificaciones correspondientes.

Y con respecto al costo fijo, es necesario también aclarar que, dada las circunstancias de la gran cantidad de bloques a transportar, es necesario más de un contenedor, el cual necesita un cálculo individual. Se comprende que cada contenedor tiene un costo aproximado de USD 920, incluyendo el flete terrestre de Ambato hasta Guayaquil, los gastos portuarios y las inspecciones necesarias. Se incrementa el costo fijo a medida aumenta el número de contenedores a exportar, por tanto, no es un costo fijo tradicional sino un costo escalonado.

Por tanto, se realiza una distinción frente a los costos fijos anuales, que conllevan el cálculo de certificaciones y otros trámites de aduana que tienen un único coste y que no dependen del número de contenedores a contratar. Sin embargo, para el cálculo matemático del punto de equilibrio se suman en un solo costo fijo total. Dichos costos fijos y variables se evidencian en las tablas 16, 17 y 18 respectivamente.

**Tabla 16: Costo variable unitario (CVu).**

| Elemento | USD/bloque CR20% |
|---|---|
| Cemento ARMADURO IP | 0.0882 |
| Chasqui árido fino | 0.0528 |
| Polvo pómez árido fino | 0.0635 |
| Caucho reciclado NFU | 0.4688 |
| Mano de Obra prorrateado | 0.0462 |
| CVu TOTAL | 0.7272 |

Fuente: elaboración propia

El Costo Variable Unitario (CVu): USD 0.7272/bloque, se establece de acuerdo a la suma de los costos por los insumos de fabricación por cada bloque: cemento, chasqui, polvo pómez, caucho reciclado y costos de producción prorrateados, tales como, el servicio de la energía eléctrica, agua potable y mano de obra, el ultimo con un valor de USD 3.5 por quintal producido.

**Tabla 17: Costos fijos anuales**

| Elemento | USD |
|---|---|
| Mantenimiento NTE E.070 Perú | 133.00 |
| Gestión comercial | 1,500.00 |

| | |
|---|---|
| Certificado de Origen (consolidado) | 50.00 |
| Agenciamiento de aduana (consolidado) | 200.00 |
| Trámite DAE + Ecuapass (consolidado) | 80.00 |
| COSTO TOTAL FIJO ANUAL | 1.940 |

Fuente: elaboración propia

**Tabla 18: Costos fijos por contenedor**

| Concepto | USD/contenedor |
|---|---|
| Flete terrestre Ambato–Guayaquil (40') | 450.00 |
| Gastos portuarios (THC) | 320.00 |
| Inspección / aforo no automático | 150.00 |
| COSTO TOTAL FIJO | 920.00 |

Fuente: elaboración propia

Con las tablas de costos detalladas, se procede a calcular el margen de contribución (MCT) por contenedor, por medio de la siguiente formula:

$$MCT = \mathrm{Q} * (\mathrm{PVU} - \mathrm{CVU})$$

Donde Q representa la capacidad del contenedor (2.900 bloques), PVU el precio de venta unitario (USD 1,10 por bloque) y CVU el costo variable unitario (USD 0,7272 por bloque). El valor obtenido es de USD 1.081,12 por contenedor, valor que seguidamente asume el costo de USD 920 del siguiente contenedor dando como margen neto por contenedor (MNC) el valor de USD 161.12. Dicho dato es aplicado en la siguiente formula a fin de establecer (n), cantidad de contenedores necesarios para recuperar el costo fijo anual.

Se presenta la formula en la siguiente ecuación matemática:

$$n = \frac{\mathrm{CFA}}{\mathrm{MNC}}$$

Donde:

- n = Número de contenedores necesarios para alcanzar el punto de equilibrio.
- CFA = Costo Fijo Anual.
- MNC = Margen Neto por Contenedor.

Se sustituyen los datos.

$$n = \frac{2543}{161.12}$$

$$n = 12.06$$

Dado los resultados de los cálculos se presenta el costo fijo total (CFT): USD 17.230, corresponde a la suma de componentes detallados anteriormente, los USD 1.943 del CFA, que implica el cumplimiento del ensayo anual NTE E.070, certificados de origen y gestión comercial. Los USD 11.960, representa el costo de todos los contenedores a contratar, para la obtención del dato se multiplica el costo de transporte de cada contenedor (USD 920) por la cantidad calculada de n, siendo 12.06 contenedores, que para un caso práctico se calcula como 13 contenedores.

Una vez establecidos los datos necesarios para el proceso de exportación, se opta por recurrir al punto de equilibrio, herramienta de análisis ideal para establecer el nivel de ventas óptimo en el que los ingresos totales igualan exactamente los costos totales, esto con la finalidad de fijar un precio de venta adecuado y una cantidad aproximada de bloques con 20% de CR que evalúe el supuesto de la viabilidad del proyecto de exportación.

Se establece a continuación, los valores de los datos necesarios en la primera formula con respecto al punto de equilibrio en cantidad (PEQ), que posteriormente se reemplazan y se calculan.

**Datos:**

- Costos Fijos Totales: USD 13.903
- Costo Variable Unitario: USD 0,7272, acorde a cada bloque con 20% de CR.
- Precio de Venta Unitario: USD1,10/bloque FOB, precio acorde al techo de mercado verde identificado, Perú.

$$\boldsymbol{PEQ} = \frac{\text{Costos Fijos}}{\text{Precio de Venta Unitario} - \text{Costo Variable Unitario}}$$

$$\boldsymbol{PEQ} = \frac{13.903}{1{,}10 - 0.727}$$

$$\boldsymbol{PEQ} = 37.293\ Unidades$$

El cálculo anterior de 37.293 unidades, representa la cantidad mínima de unidades que la empresa Eco-Blocks debe vender para que los ingresos sean iguales a los costos totales, punto donde no existen perdidas ni ganancias. A continuación, se procede con el cálculo de la segunda formula correspondiente al punto de equilibrio en ventas (PEM).

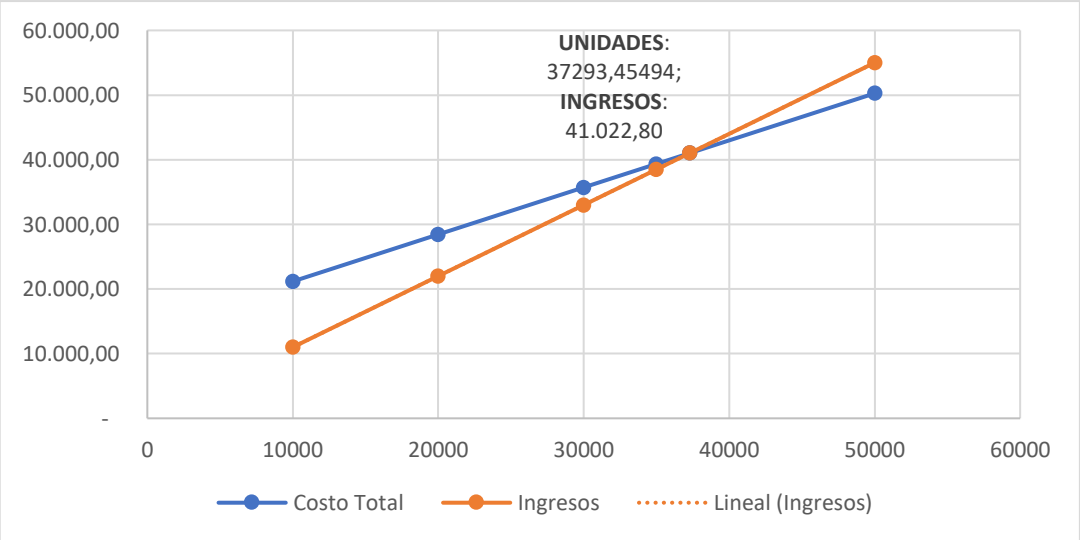
$$\boldsymbol{PEM} = \frac{\text{Costos Fijos}}{1 - (\frac{\text{Costo Variable Unitario}}{\text{Precio de venta Unitario}})}$$

$$\boldsymbol{PEM} = \frac{13.903}{1 - (\frac{0.727}{1.10})}$$

$$\boldsymbol{PEM} = 41.022{,}80\ USD$$

La ecuación da como resultado un monto de USD 41.022,80, necesarios para alcanzar el punto de equilibrio, el valor indica el total de ventas que debe alcanzar Eco-Blocks para comenzar a obtener utilidades, se ilustra en la figura 3.

Figura 3: Punto de equilibrio Eco-Blcocks




Fuente: elaboración propia.

Resultado: se necesitan 37.293 bloques (USD 41.022,80 en ventas) para alcanzar el punto de equilibrio, dicho análisis se evidencia en mayor detalle en el (Anexo 8.- Punto de Equilibrio.xlsx).

Sin embargo, la cifra anterior, depende exclusivamente de la relación costo-precio, por tal razón, si se pretende realizar una proyección más favorable y optimista de una exportación es necesario hacer hincapié que una reducción de los costos de producción influyen directamente en un incremento de los márgenes de ingresos.

Del análisis anterior, se evidencia una sensibilidad del margen de contribución, la diferencia entre el precio del contenedor (USD 1.081.12) y su costo por embarque (USD 920), cualquier modificación o pequeña mejora tiene un efecto desproporcionado, esto debido al margen tan estrecho que presenta de USD 161,12 Entre las mejoras a considerar se encuentran el aumento del precio FOB verde, reducción del flete terrestre, aumento de la capacidad real del contenedor y una reducción del costo variable en la producción de bloques.

Una estimación del incremento del precio de USD 1.10 a USD 1.2, representa una reducción del punto de equilibrio de 13 a solo 5 contenedores. Sin embargo, esta reducción depende de la negociación con un comprador dispuesto a pagar un precio más elevado, también supone sobrepasar el nivel máximo de precio FOB de USD 1.10 que la literatura establece.

Una suposición de la reducción del flete del 20% (USD 90) por contenedor, representa una disminución del punto de equilibrio de 13 a 8 contenedores, esta variación depende si la empresa Eco-Blocks trabaja en conjunto con varios productores de la zona de Tungurahua para un mismo contenedor o gestionan cargas compartidas hacia la frontera.

El punto de inflexión más representativo se encuentra en optimizar el costo variable de producción. El caucho reciclado es el insumo más caro (USD 0.4688/Bloque) una negociación de un mejor precio de adquisición con el proveedor de gránulos de caucho implica una mejora considerable, al aplicar un precio de caucho de USD 0.30/kg reduce el punto de equilibrio de 37.293 a solo 8.700 bloques, una reducción del 79.3%. Además, este factor depende de la empresa Eco-Blocks afianzándose

como una propuesta más real y alcanzable, antes de negociar nuevos precios de venta y transporte con actores fuera de la empresa.

En relación a lo anterior se evidencia que el mercado del caucho tiene un rango de precios de USD 0.28 a USD 0.55 por kilogramos, expuesto en el capítulo 1 de la presente investigación. Se considera finalmente que el caucho es la prioridad número uno en un plan de reducción de costos aplicable en la empresa Eco-Blocks. Por tanto, un correcto manejo de adquisición del caucho reciclado proveniente de los NFU fortalece la producción y rentabilidad de bloques ecológicos, producto que demuestra que posee potencial sostenible en pro por constituir una conciencia ambiental con una proyección viable en términos económicos.

Si bien, el estudio afirma la posibilidad de exportación del bloque con CR 20% bajo condiciones específicas y escalables, también, no obvia el potencial sostenible y económico de la incorporación del producto en nichos de mercados locales, reduciendo a su vez el costo explícito del transporte internacional y certificaciones de origen exigidas para el comercio internacional.

El bloque con CR 20% en un mercado como Ecuador con menos exigencias normativas y ambientales que el mercado internacional es un producto polivalente, aplicable tanto en construcciones de cerramientos perimetrales no estructurales, losas de viviendas y paredes interiores con poca carga estructural. Evidencia clara de que el producto es un acierto en términos de reducción y reutilización de uno de los contaminantes más nocivos del planeta, los NFU.

## CONCLUSIONES

- En correspondencia con el primer objetivo, los resultados de la investigación plantean un escenario donde la esfera global enfrenta la desmedida acumulación de neumáticos fuera de uso (NFU), consolidándose como una crisis de salud pública y ambiental a largo plazo. En este escenario la integración y reutilización del caucho reciclado en el sector de la construcción resulta una decisión estratégica de la economía circular direccionada para la valorización de un residuo de difícil degradación para convertirlo en un activo sostenible.
- Se identifican los desbalances entre la generación de desechos y su recuperación, por tanto, se evidencia la necesidad de migrar de aplicaciones secundarias hacia soluciones estructurales emergentes que valoran la sostenibilidad. El sector de materiales de construcción emerge como el receptor principal ideal para absorber volúmenes industriales de desechos de NFU. La reutilización del caucho supone una ventaja competitiva en la industria de la mampostería.
- En relación con el segundo objetivo específico, para asegurar la viabilidad económica del uso del caucho reciclado, es necesario una revisión técnica desde la perspectiva de la ingeniería civil, la sustitución de partículas de caucho en el hormigón no solo responde a criterios ecológicos, sino a una valoración del desempeño en la resistencia y la densidad del bloque de mampostería en proporciones del 10%, 20% y 30% en volumen del caucho sustituido frente a los áridos finos tradicionales. Dando como resultado una constante lineal, a medida del aumento del volumen del caucho, se evidencia una disminución de la resistencia y la densidad, en contraste con el aumento del costo de su procesamiento.
- Dado el matiz del producto, se valoran propiedades elásticas, acústicas y térmicas del caucho, que otorgan una ventaja competitiva. Se evidencia el aporte verificable de la reducción de la huella de carbono en el planeta a través de la propuesta de producción del bloque de mampostería no estructural tipo B con 20% de caucho reciclado, acorde a las normas NTE

INEN 3066, que cuenta con una característica optima entre sostenibilidad y aplicación técnica estructural.

- El acceso a mercados internacionales verdes depende estrictamente del cumplimiento de marcos normativos rigurosos y certificaciones con un costo inicial elevado. Para que el bloque CR20% sea un producto de exportación competitivo debe cumplir con requisitos de internacionalización, encareciendo en el proceso los costos de transporte y acreditación, que supera la oferta tradicional.
- En cumplimiento del tercer objetivo específico, el mercado objetivo propuesto es Perú, por su ventaja en la proximidad logística, para exportar acorde a un esquema conservador la escala mínima necesaria de 37.293 bloques equivalente a 13 contendedores a un precio de USD 1.10 FOB, se determina finalmente que la viabilidad depende de una función directa de tres variables controlables, el precio de adquisición del caucho reciclado, el precio FOB negociado en el mercado internacional verde y la eficiencia logística de exportación.
- Y en correspondencia con el objetivo general, se concluye que el desarrollo de bloques con caucho reciclado es una vía óptima para catalizar la transición hacia una industria de la construcción que es participe de la reducción de la huella de carbono, sin embargo, bajo un estudio técnico-económico se confirma que el producto es viable siempre y cuando cumpla especificaciones técnicas y exigencias de sostenibilidad internacionales.

## RECOMENDACIONES

Se identifican las líneas de estudio que quedaron fuera del análisis actual, que son relevantes y pertinentes para futuras líneas de investigación. La implementación de estas recomendaciones permitirá asegurar el reconocimiento y credibilidad del bloque tipo B con caucho como material sostenible verificable.

- Se recomienda un estudio de durabilidad y comportamiento a largo plazo de bloques con caucho reciclado frente a ciclos de humedad-secado, exposición UV prolongada o resistencia al fuego. Variables críticas que exigen mercados con normativas de construcción más exigentes.
- Profundizar la estabilidad de la cadena de suministro del caucho NFU, la presente investigación asumió el precio fijo de USD 0.55/kg, pero no se investiga la disponibilidad real o constante de plantas procesadoras de NFU, los cuales pueden influir en el precio y costo operativo de adquisición.
- Riesgos asociados a la exportación, se pasa por alto el riesgo cambiario y el tipo de cambio del país de destino, al igual que las normativas arancelarias dinámicas de productos sostenibles. Además, se pasa por alto la existencia de competidores potenciales en el mercado local objetivo.
- Se recomienda la búsqueda de incentivos gubernamentales y créditos de carbono ideales para cuantificar la reducción de emisiones por evitar la incineración de NFU, un estudio más profundo acerca del beneficio económico que puede compensar los costos logísticos y el coste final del producto.

## BIBLIOGRAFÍA

Abdullah Ziyad Tariq. (2024). Remanufactured waste tire by-product valorization: Quantitative–qualitative sustainability-based assessment. *Results in Engineering*, *22*. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102229

Ahmad Jawad, Zhou Zhiguang, Majdi Ali, Alqurashi Muwaffaq, & Deifalla Ahmed Farouk. (2022). Overview of Concrete Performance Made with Waste Rubber Tires: A Step toward Sustainable Concrete. *Materials*, *15*(16), 5518. https://doi.org/10.3390/MA15165518

Azunna Sunday U., Aziz Farah N.A.A., Rashid Raizal S.M., & Bakar Nabilah B.A. (2024). Review on the characteristic properties of crumb rubber concrete. In *Cleaner Materials* (Vol. 12). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100237

Bernal Torres. (2010). *Metodología de la investigación*.

Carin Yaquelin Atencio Layme. (2025). *Vista de Elaboración de Ladrillos Ecológicos a partir de Caucho Reciclado de NFU y Tereftalato de Polietileno (PET) | Sciencevolution*. https://revista.sciencevolution.com/index.php/sciencievolution/article/view/195/187

Carlos Emmanuel Alvear Peralta. (2025). *Vista de BLOQUES DE MAMPOSTERÍA DE HORMIGÓN CON NEUMÁTICOS RECICLADOS: DISEÑO, FABRICACIÓN Y EVALUACIÓN*. https://prisma.uazuay.edu.ec/index.php/daya/article/view/1058/1594

Castro Guerrero, Caceres Paz, & Estrada Oblea. (2024). *METADATOS COMPLEMENTARIOS Datos de los autores*.

Chen Zhongbo, Qiao Jun, Yang Xiaoyu, Sun Yu, & Sun Daquan. (2023). A review of grouting materials for pouring semi-flexible pavement: Materials, design and performance. *Construction and Building Materials*, *379*, 131235. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131235

Esteves Mariana C., Dean David, & Balzarova Michaela. (2017). Assessment of building products attributes — A comparative study between eco-labelled and non-eco-labelled products available in the New Zealand market. *Sustainable*

*Production and Consumption*, *10*, 100–109. https://doi.org/10.1016/J.SPC.2017.02.003

Franki Soncco. (2023). *Vista de Comportamiento estructural de muros en viviendas incorporando caucho de neumáticos reciclados y aserrín en los bloques de concreto, Juliaca – 2023*. https://revistas.unh.edu.pe/index.php/ricci/article/view/514/1107

Fuertes Graciela, & Monteverde Guillermo. (2024). Proyecto de diseño e implementación de una planta recicladora de neumáticos fuera de uso: Un enfoque de finanzas sustentables. *Revista de Investigación En Modelos Financieros*, *1*, 96–131. https://doi.org/10.56503/RIMF/VOL.1(2024)/3064

Garcia-Troncoso Natividad, Acosta-Calderon Samantha, Flores-Rada Jorge, Baykara Haci, Cornejo Mauricio H., Riofrio Ariel, & Vargas-Moreno Katherine. (2022a). Effects of Recycled Rubber Particles Incorporated as Partial Sand Replacement on Fresh and Hardened Properties of Cement-Based Concrete: Mechanical, Microstructural and Life Cycle Analyses. *Materials 2023, Vol. 16, Page 63*, *16*(1), 63. https://doi.org/10.3390/ma16010063

Garcia-Troncoso Natividad, Acosta-Calderon Samantha, Flores-Rada Jorge, Baykara Haci, Cornejo Mauricio H., Riofrio Ariel, & Vargas-Moreno Katherine. (2022b). Effects of Recycled Rubber Particles Incorporated as Partial Sand Replacement on Fresh and Hardened Properties of Cement-Based Concrete: Mechanical, Microstructural and Life Cycle Analyses. *Materials 2023, Vol. 16, Page 63*, *16*(1), 63. https://doi.org/10.3390/ma16010063

Garcia-Troncoso Natividad, Acosta-Calderon Samantha, Flores-Rada Jorge, Baykara Haci, Cornejo Mauricio H., Riofrio Ariel, & Vargas-Moreno Katherine. (2022c). Effects of Recycled Rubber Particles Incorporated as Partial Sand Replacement on Fresh and Hardened Properties of Cement-Based Concrete: Mechanical, Microstructural and Life Cycle Analyses. *Materials 2023, Vol. 16, Page 63*, *16*(1), 63. https://doi.org/10.3390/ma16010063

Gómez Rivas Branko Steven, G. E. J. M. (2019). *NORMATIVAS BLOQUES DE MANPOSTERIA*.

Gómez Rivas Branko Steven, & García Escobar Juan Mateo. (2019). *CARACTERIZACION MECANICA BLQOUES DE MANPOSTERIA*.

Gordillo Timoteo. (2025). *MANUAL BLOQUES TRADICIONAL*.

Grima-Cornish James N., Grima Joseph N., & Attard Daphne. (2019). A Novel Mechanical Metamaterial Exhibiting Auxetic Behavior and Negative Compressibility. *Materials 2020, Vol. 13, Page 79*, *13*(1), 79. https://doi.org/10.3390/MA13010079

Guevara Sáenz de Viteri, J., Tinoco Ángeles, F., Delgado Plaza, E., & Calderón Cisneros, J. (2020). Reúso pragmático de neumáticos en un proyecto educativo para alcanzar competencias del desarrollo sostenible. *Industrial Data*, *23*(2), 127–140. https://doi.org/10.15381/idata.v23i2.16758

Guo Wenxuan. (2025). Navigating dual pressures: The impact of environmental policies and market demand risks on the sustainable development of green building materials - A case study of the green cement industry. *Heliyon*, *11*(2), e41942. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2025.E41942

Helmy, S. H., Tahwia, A. M., Mahdy, M. G., Abd Elrahman, M., Abed, M. A., & Youssf, O. (2023). The Use of Recycled Tire Rubber, Crushed Glass, and Crushed Clay Brick in Lightweight Concrete Production: A Review. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 10060*, *15*(13), 10060. https://doi.org/10.3390/SU151310060

Helmy Sherif H., Tahwia Ahmed M., Mahdy Mohamed G., Abd Elrahman Mohamed, Abed Mohammed A., & Youssf Osama. (2023). The Use of Recycled Tire Rubber, Crushed Glass, and Crushed Clay Brick in Lightweight Concrete Production: A Review. *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 10060*, *15*(13), 10060. https://doi.org/10.3390/SU151310060

Helmy Sherif H., Tahwia Ahmed M., Mahdy Mohamed G., & Elrahman Mohamed Abd. (2023). Development and characterization of sustainable concrete incorporating a high volume of industrial waste materials. *Construction and Building Materials*, *365*, 130160. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.130160

Hernández Sampieri et al. (2014). *Metodología de la Investigación - 6ª Edición*. https://studylib.net/doc/27761002/hern%C3%A1ndez-sampieri-et-al-6ta.-ed.-2014?utm_source=chatgpt.com&p=2

Hillerns Rodrigo Palma. (2017). *INGENIERÍA DE PERFIL DE MODERNAS PLANTAS PARA RECICLAJE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO*

*KÉVIN TIREL PROFESOR GUÍA: PATRICIO JORQUERA ENCINA MIEMBROS DE LA COMISIÓN: LEONEL NÚÑEZ LAZO*.

Jesús Colín, Y. R. C. B. J. del C. P. A. O. A. J. (2024). *Vista de Aportes de partículas de caucho de neumáticos reciclados a mezclas de concreto y aplicaciones*. https://aldeser.org/journals/index.php/TERYS/article/view/295/378

Jordy Asbhy Martillo Garcia. (2025). *FICHA SENESCYT PARA EL REPOSITORIO*.

José Luis Montoya Fiallos. (2019). *FACULTAD DE POSTGRADO TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN DIAGNÓSTICO DE LA COMUNICACIÓN PUBLICITARIA PARA SOFY'S CAKE, LA CEIBA SUSTENTADO POR: JOSÉ LUIS MONTOYA FIALLOS PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE*.

Kulatunga U, Amaratunga R D G, Haigh, R., & Rameezdeen R&d. (1981). *SOURCES OF CONSTRUCTION MATERIAL WASTAGE IN SRI LANKAN SITES*.

Laftah Waham Ashaier, & Wan Abdul Rahman Wan Aizan. (2025). A comprehensive review of tire recycling technologies and applications. *Materials Advances*, *6*(15), 4992–5010. https://doi.org/10.1039/d5ma00463b

Lucía Vásconez. (2025). *El mercado automotor de Ecuador consolida su recuperación en diciembre de 2025 - El Comercio*. https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/mercado-automotor-ecuador-consolida-recuperacion-diciembre-2025/?utm_source=chatgpt.com

Luis Edwin Chimborazo Azogue, E. D. C. Y. R. F. M. L. (2017). *Trituration of recycled tires as triggers in industrial process*.

Luis Ventura-León, J. (2017). Population or sample? A necessary difference. *Revista Cubana de Salud Pública*, *43*(3). http://scielo.sld.cu

Metinal Yusuf Berkay, & Ayalp Gumusburun Gulden. (2025). Uncovering Barriers to Circular Construction: A Global Scientometric Review and Future Research Agenda. *Sustainability 2025, Vol. 17, Page 1381*, *17*(4), 1381. https://doi.org/10.3390/SU17041381

Ministerio de Vivienda, C. y S. (MVCS). (2006). *NORMA TÉCNICA E.070 ALBAÑILERÍA*.

Moasas Abdulrhman Mohamad, Amin Muhammad Nasir, Khan Kaffayatullah, Ahmad Waqas, Al-Hashem Mohammed Najeeb Ahmad, Deifalla Ahmed Farouk, & Ahmad Ayaz. (2022a). A worldwide development in the accumulation

of waste tires and its utilization in concrete as a sustainable construction material: A review. *Case Studies in Construction Materials*, *17*, e01677. https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2022.E01677

Moasas Abdulrhman Mohamad, Amin Muhammad Nasir, Khan Kaffayatullah, Ahmad Waqas, Al-Hashem Mohammed Najeeb Ahmad, Deifalla Ahmed Farouk, & Ahmad Ayaz. (2022b). A worldwide development in the accumulation of waste tires and its utilization in concrete as a sustainable construction material: A review. *Case Studies in Construction Materials*, *17*(6), e01677. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01677

Nuttawut Intaboot, P. K. (2021). *Vista de la investigación de bloques de hormigón mezclados con caucho granulado reciclado: un estudio de caso en Tailandia*. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/easr/article/view/246614/167639

Paola Armijo. (2025). *Una investigación busca transformar neumáticos al final de su vida útil en soluciones de vivienda sostenibles | Universidad de Santiago de Chile*. https://www.usach.cl/en/news/research-looks-transform-end-life-tires-sustainable-housing-solutions-

Purushothaman R., Alamelu R., Selvabaskar S., & Sudha M. (2025). Theories, techniques and strategies of sustainable circular economy: a systematic literature review. *Discover Sustainability 2025 6:1*, *6*(1), 297-. https://doi.org/10.1007/S43621-025-01161-5

Qin, X., & Kaewunruen, S. (2024). Circular Economy in Construction: Harnessing Secondary Materials from End-of-Life Tires for Sustainable Building. *Lecture Notes in Civil Engineering*, *489 LNCE*, 302–311. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57800-7_28/TABLES/3

Ramirez Maury, De Belie Nele, Hassan Mohammad R, & Rodrigue Denis. (2024). Application of Waste Tire in Construction: A Road towards Sustainability and Circular Economy. *Sustainability 2024, Vol. 16, Page 3852*, *16*(9), 3852. https://doi.org/10.3390/SU16093852

Sheraz, M., Yuan, Q., Alam, M., Javed, M. F., Rehman, M. F., & Mohamed, A. (2023). Fresh and hardened properties of waste rubber tires based concrete: a state art of review. *SN Applied Sciences 2023 5:4*, *5*(4), 119-. https://doi.org/10.1007/S42452-023-05336-5

Siddika Ayesha, Mamun Md Abdullah Al, Alyousef R., Amran Y. H.Mugahed, Aslani Farhad, & Alabduljabbar Hisham. (2019). Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 224, pp. 711–731). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.108

Tamayo, M. (2004). El proceso de la investigación científica - Mario Tamayo y Tamayo - Google Libros. *Tabasco, Mexico*, 164. https://books.google.com/books/about/El_proceso_de_la_investigaci%C3%B3n_cient%C3%ADf.html?id=BhymmEqkkJwC

Tamayo y Tamayo, M. (2004). El Proceso de la Investigacion Cientifica. *Limusa*, 435. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso__de_la_investigaci_n_cient_fica_Mario_Tamayo.pdf

Thakur Ankush, Senthil K., Sharma Rachit, & Singh A. P. (2020). Employment of crumb rubber tyre in concrete masonry bricks. *Materials Today: Proceedings*, *32*, 553–559. https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.02.106

Ul Islam Mohammad Momeen, Li Jie, Roychand Rajeev, Saberian Mohammad, & Chen Fangjie. (2022). A comprehensive review on the application of renewable waste tire rubbers and fibers in sustainable concrete. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 374). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133998

Vitor dos Santos Gonçalves Paulo, Cristina Ramos Nayara, Raymundo Ferreira Filho Hélio, Maria de Souza Fábia, Douglas da Gama Melo José, deOliveira Ferreira Aline, Lebrego Cardoso Emile, & Albuquerque Gouvêa Ramosrego Cardoso, A. (2019). *WASTE TYRE REVERSE LOGISTICS IN NORTHERN BRAZIL*. http://www.journalijdr.com

Vizuete Marco, M. A. A. R. N. Maritza. (2023, February). *Vista de Reutilización de neumáticos fuera de uso para reducir niveles de contaminación y su aprovechamiento en espacios recreacionales*. https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/4921/7476?utm_source=chatgpt.com

Vizuete Montero Marco Omar, Miranda Campaña Alba Enith, Avilés Riera Ronald Marcelo, & Nole Salazar Maritza Johana. (2023). Reutilización de neumáticos

fuera de uso para reducir niveles de contaminación y su aprovechamiento en espacios recreacionales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *7*(1), 6746–6761. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4921

Xiong Guanghong, Al-Deen Safat, Guan Xiao, Qin Qing, & Zhang Chenghua. (2024a). Economic and Environmental Benefit Analysis between Crumb Rubber Concrete and Ordinary Portland Cement Concrete. *Sustainability (Switzerland)* , *16*(11). https://doi.org/10.3390/su16114758

Xiong Guanghong, Al-Deen Safat, Guan Xiao, Qin Qing, & Zhang Chenghua. (2024b). Economic and Environmental Benefit Analysis between Crumb Rubber Concrete and Ordinary Portland Cement Concrete. *Sustainability (Switzerland)* , *16*(11). https://doi.org/10.3390/su16114758

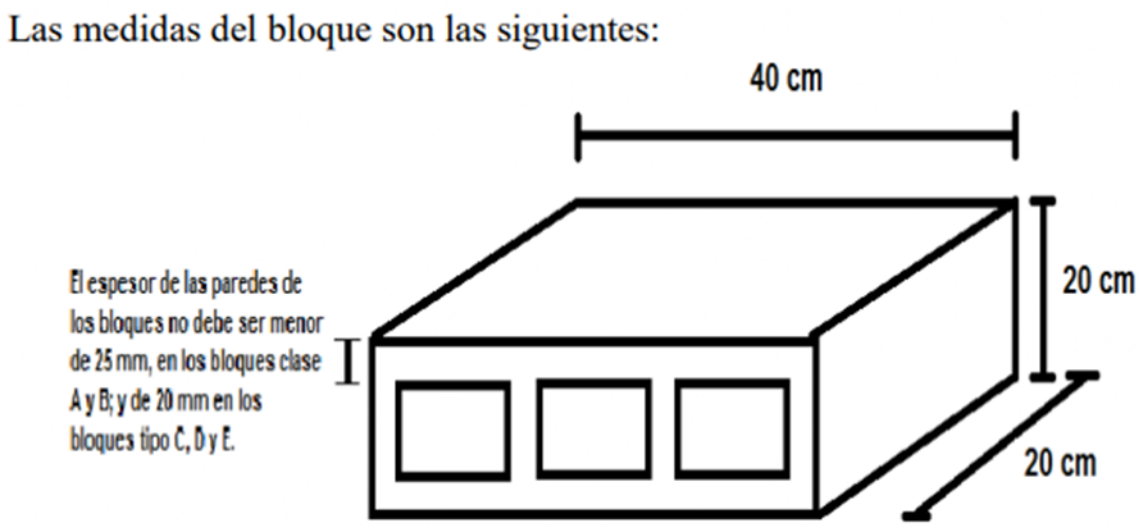
Yu Zhuoqun, Wang Yongyan, & Li Jianguang. (2022). Performance Investigation and Cost–Benefit Analysis of Recycled Tire Polymer Fiber-Reinforced Cemented Paste Backfill. *Polymers 2022, Vol. 14, Page 708*, *14*(4), 708. https://doi.org/10.3390/POLYM14040708

Yung, W. H., Yung, L. C., & Hua, L. H. (2013). A study of the durability properties of waste tire rubber applied to self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, *41*, 665–672. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.11.019

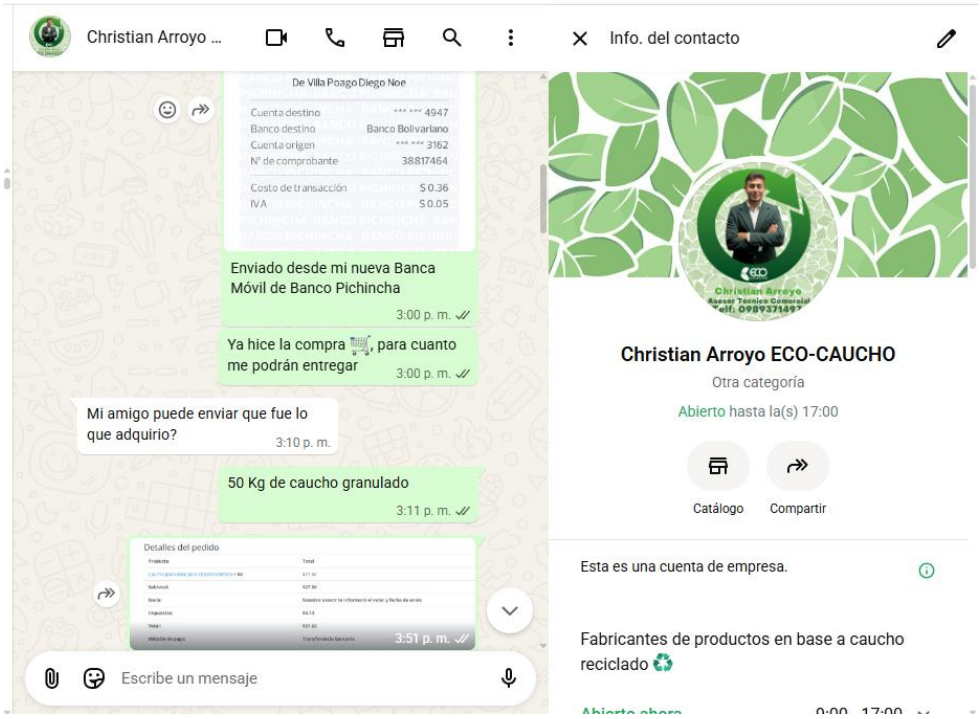
Zia Asad, Pu Zhang, Holly Ivan, Umar Tariq, Tariq Muhammad Atiq Ur Rehman, & Sufian Muhammad. (2022). A Comprehensive Review of Incorporating Steel Fibers of Waste Tires in Cement Composites and Its Applications. *Materials*, *15*(21), 7420. https://doi.org/10.3390/MA15217420

## ANEXOS

**Anexo 1.-** Medidas del bloque de mampostería no estructural tipo B, acorde a las normas NTE INEN 3066.




**Anexo 2.-** Compra de caucho reciclado.



**Anexo 3:** Peso de materiales en kilogramos en la elaboración de bloques con caucho.




**Anexo 4:** Maquinaria y equipos necesarios para la producción bloques tipo B.



**Anexo 5:** Ensayos de laboratorio en la Universidad Técnica de Ambato (UTA)



**Anexo 6**: Pruebas de Resistencia a la comprensión y densidad del bloque tipo B.

