

MONOGRAFÍA
REVISION TEÓRICA DEL ESTUDIO COMPARATIVO EN BLOQUES DE ARCILLA
Y CÁÑAMO INDUSTRIAL COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN
SOSTENIBLE.



VALENTINA MANCERA LEÓN



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

MONOGRAFÍA
REVISION TEÓRICA DEL ESTUDIO COMPARATIVO EN BLOQUES DE ARCILLA
Y CÁÑAMO INDUSTRIAL COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN
SOSTENIBLE.

VALENTINA MANCERA LEÓN

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de ingeniero civil.

Aprobado por:
ING. JULIETH NATALIA GARCÍA SOLANO
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2022

Autoridades Académicas

P. José Gabriel MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P. Eduardo GONZÁLES GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

ING. LUIS FERNANDO DÍAZ CRUZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

Agradecimientos

La presente revisión teórica quiero dedicarla principalmente a mis padres, por haberme brindado todas las herramientas necesarias hasta el final de mis estudios en este pregrado, por creer en mí y apoyarme en todo momento, dicho lo anterior, quiero agradecerle a Dios por todas las bendiciones que he recibido hasta el día de hoy y permitirme disfrutar el sueño de ser profesional.

Por otro lado, quiero agradecerles a todas las personas que hicieron parte de mi proceso académico directa e indirectamente, sin duda fueron claves en el desarrollo de mi vida profesional y personal.

A mi directora la ingeniera Julieth Natalia García Solano que fue indispensable en el desarrollo de este proyecto de grado, le agradezco por su orientación, comprensión, consejos, correcciones y demás experiencias compartidas durante la ejecución de todo este proceso.

Ha sido un camino lleno de altibajos, constancia, frustración, emoción y miles de sentimientos que me han encaminado hasta la culminación de mis estudios en la universidad Santo Tomas, me siento muy afortunada y emocionada con mis logros hasta el momento; gracias a todos, Dios los bendiga.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	8
Abstract	9
Glosario	10
Introducción	11
1 Formulación del problema	13
2 Objetivos	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 Justificación.....	16
4 Estado del arte	17
5 Metodología	21
6 Desarrollo.....	23
6.1 Etapa uno: propiedades físico - mecánicas de cada bloque de estudio.	23
6.1.1 Extracción del material	23
6.1.2 Proceso productivo.....	25
6.1.3 Tipos más comunes	28
6.1.4 Características físico-mecánicas	33
6.2 Etapa dos: Ventajas y desventajas del uso para el ladrillo ecológico de cáñamo industrial y el ladrillo convencional de arcilla	41
6.2.1 Cáñamo industrial	41
6.2.2 Arcilla.....	43
6.3 Etapa tres: Puntos relevantes a nivel económico y financiero para el uso de los bloques en el campo de la mampostería estructural.....	45
7 Conclusiones	49
8 Referencias bibliográficas	51

Lista de Tablas

Tabla 1. Metodología	21
Tabla 2. Comparativo del proceso productivo del ladrillo ecológico hecho con cañamo industrial y el ladrillo hecho con arcilla.....	28
Tabla 3. Comparación de los tipos de ladrillos.....	31
Tabla 4. Medidas y pesos para cada muestra.	34
Tabla 5. Prueba absorción de agua.	35
Tabla 6. Prueba de compresión.	36
Tabla 7. Propiedades físico – mecánicas ladrillo ecológico hecho con cañamo industrial.	37
Tabla 8. Ejemplo de cálculo para prueba de absorción de agua en una ladrillera.	38
Tabla 9. Porcentaje de absorción promedio.	39
Tabla 10. Resistencia a la compresión muestra #8	40
Tabla 11. Resultados generales del ensayo de resistencia a la compresión para cada una de las ladrilleras.....	40
Tabla 12. precio de venta ladrillos tradicionales.	46
Tabla 13. Costos de fabricación del ladrillo ecológico.....	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Cultivo de cáñamo industrial.....	23
Figura 2. Extracción de arcilla.	25
Figura 3. Ladrillo de cáñamo	26
Figura 4. Ladrillo de arcilla.	27
Figura 5. Unidades de perforación horizontal.....	29
Figura 6. Unidades de perforación vertical.....	29
Figura 7. Unidades macizas.	30
Figura 8. Productos mínimos viables de ladrillo ecológico de cáñamo industrial.....	33
Figura 9. Ensayos absorción de agua.....	35

Resumen

La presente monografía tiene como objetivo realizar una revisión teórica acerca de la comparación entre una propuesta innovadora como son los ladrillos ecológicos hechos a base de cáñamo industrial y los ladrillos convencionales a base de arcilla que representan uno de los materiales más utilizados de la historia en el ámbito de la construcción. De igual manera se evidencian las particularidades más importantes en el proceso de transformación de la materia prima para ambos bloques, se presentan tres casos de estudio para la elaboración de cada producto final y se realiza un comparativo cualitativo de las principales propiedades físico – mecánicas de cada bloque de estudio, verificando el cumplimiento de las exigencias mínimas según las normas NTC 4205, NTC 4017 y ASTM 109. Adicionalmente, se identifican las diferentes ventajas y desventajas y los puntos más relevantes a nivel económico para ambos ladrillos, obteniendo como resultado un alto rendimiento para estos dos materiales de estudio. También se identifica que el cáñamo industrial como material sustituto al tradicional, cumple satisfactoriamente con lo mencionado anteriormente y que a su vez son muy limitados los proyectos que hoy por hoy implementan esta alternativa ecológica como material de construcción. El estudio y resultado de este proceso investigativo fue desarrollado a partir del análisis y revisión documental, con diferentes recursos de repositorios académicos, tesis, monografías, entre otras, que permitieron sintetizar de manera cualitativa el objeto de estudio.

Palabras Clave: Ladrillos ecológicos, cáñamo industrial, alternativa ecológica, propiedades físico-mecánicas, ladrillo de arcilla.

Abstract

(The objective of this monograph is to carry out a theoretical review about the comparison between an innovative proposal such as ecological bricks made from industrial hemp and conventional clay-based bricks that represent one of the most used materials in history. construction field. In the same way, the most important particularities in the transformation process of the raw material for both blocks are evidenced, three case studies are presented for the elaboration of each final product and a qualitative comparison of the main physical-mechanical properties of each is made. study block, verifying compliance with the minimum requirements according to the NTC 4205, NTC 4017 and ASTM 109 standards. Additionally, the different advantages and disadvantages and the most relevant points at an economic level for both bricks are identified, obtaining as a result a high performance for these two study materials. It is also identified that industrial hemp as a substitute material for the traditional one, satisfactorily complies with the aforementioned and that, in turn, the projects that today implement this ecological alternative as a construction material are very limited. The study and result of this investigative process was developed from the analysis and documentary review, with different resources from academic repositories, theses, monographs, among others, which allowed the qualitative synthesis of the object of study.

Keywords: Ecological bricks, industrial hemp, ecological alternative, physical-mechanical properties, clay brick.

Glosario

Cañamo: Planta de tallo recto, erguido y hueco, corteza interna fibrosa, hojas opuestas y divididas en hojuelas lanceoladas y flores masculinas agrupadas en racimos y femeninas en inflorescencias; puede alcanzar hasta 2 m de altura.

Combustible fósil: Fuente de energía que procede de la descomposición de materia orgánica de animales, plantas, microorganismos y cuyo proceso de transformación tarda millones de años.

Dióxido de carbono: Es un compuesto de carbono y oxígeno que existe como gas incoloro en condiciones de temperatura y presión estándar. Está relacionado con el efecto invernadero.

Fibra vegetal: Son materiales filamentosos de origen biológico, cuyas características químicas, físicas y mecánicas, les confieren cualidades en su aspecto, textura, longitud, resistencia y flexibilidad, que las hacen susceptibles de uso.

Mampostería estructural: Es un sistema compuesto por bloques de concreto u otros materiales que conforman sistemas monolíticos que pueden resistir cargas de gravedad, sismo y viento.

Sostenible: Es la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social.

Introducción

En el sector de la construcción uno de los materiales más utilizados es el ladrillo convencional hecho a base de arcilla, esto se debe a que se encuentra en el 90% de las construcciones en la actualidad, sin embargo, su producción representa un impacto negativo severo en la calidad del aire por la quema de combustibles fósiles y el derrame a las fuentes hídricas superficiales, adicionalmente, en su proceso productivo se genera alta demanda de energía y consumo de recursos como combustibles. El alto impacto ambiental en las ladrilleras se genera por la producción de contaminantes como el carbono negro que se da en el proceso de combustión donde son empleados los hornos de cal y de ladrillo, esta actividad representa aproximadamente el 9% de la contaminación atmosférica global. Debido a que es un material de producción masiva al incrementar la producción, se reduce la esperanza de vida, se aumentan los problemas respiratorios y son los causantes del grave deterioro climático. (Jimenez Correa, 2017)

En la actualidad a nivel mundial se empiezan a usar materiales ecológicos con el fin de mejorar los procesos productivos a través del cambio en la materia prima, incorporando nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia y prevengan daños a la salud y el ambiente. Es por esto que el cáñamo industrial es un producto estigmatizado por el desconocimiento en cuanto a su cultivo de origen; dicho lo anterior cabe resaltar que la fibra de esta planta es extraída del cannabis no psicoactivo que posee diversas propiedades aprovechables en beneficio de la sociedad en general. Los ladrillos ecológicos producidos con fibra de cáñamo son considerados una alternativa amigable con el medio ambiente, que ofrece los mismos beneficios que un ladrillo convencional, pero con ventajas comparativas como aislamiento térmico, acústico, cumple con la normatividad de sismo resistencia en Colombia, no necesita ningún horno en su fabricación y este compuesto por materiales menos dañinos que el tradicional. (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021)

La investigación realizada está enfocada en sintetizar la información necesaria para lograr una comparación para ambos bloques de estudio que nos permita diferenciar ciertas características fundamentales en el sector de la construcción en el ámbito ingenieril. Dicho lo anterior, cabe resaltar que hoy en día nace la necesidad de buscar nuevas alternativas amigables con el medio ambiente que sustituyan los materiales convencionales, con el objetivo de realizar un análisis

cualitativo que demuestre por medio de la revisión del estado del arte, las ventajas y desventajas del uso de este nuevo material implementado en la industria ladrillera.

1 Formulación del problema

La acelerada expansión del crecimiento urbano en las diferentes poblaciones a nivel mundial ha ido de la mano con el crecimiento de otras industrias como lo es la ladrillera, esto debido a la creciente demanda en el mercado de productos para la construcción. (Claro Paez, 2020)

De acuerdo con el “Inventario del sector ladrillero” elaborado por la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM), con el apoyo de la Coalición del Clima y Aire Limpio, en Colombia se han podido identificar 1.508 industrias ladrilleras ubicadas en 15 departamentos del país, con una producción anual considerada en cerca de 13 millones de toneladas de materiales cerámicos al año. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2021); Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el producto interno bruto (PIB) de Colombia para el año 2018 fue de 976 billones de pesos, de los cuales 11.8 billones fueron destinados a la fabricación de productos denominados “no metálicos”, incluida la fabricación de productos de arcilla. Así mismo, el DANE publicó en la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) del año 2017 que la fabricación de estos productos empleó alrededor de 25.348 personas de forma permanente y 3.642 de forma temporal. (Departamento Nacional de Estadística (DANE), 2018)

Sin embargo, pese a los beneficios que este sector proporciona en el ámbito económico y a nivel industrial, genera un gran impacto ambiental debido al proceso de producción que este material conlleva, especialmente la emisión atmosférica relacionada con los procesos de cocción y secado artificial, ya que las numerosas cantidades de contaminantes producidos por esta actividad afectan la calidad del aire; también es común la inadecuada disposición de residuos sólidos, deforestación, degradación de terrenos y desestabilización de suelos. Adicionalmente, se ocasiona afectación de la salud de los trabajadores por la exposición permanente a factores como ruido, calor intenso, polvo, excesivo esfuerzo físico, viento, lluvia, radiación solar, entre otras. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR))

Por otro lado, desde el año 2012 en Colombia es legal sembrar cáñamo según el Decreto 613 de 2017, el cual autoriza la siembra legal de cannabis psicoactivo y no psicoactivo para usos medicinales e investigativos. El cáñamo se encuentra categorizado en la rama “no psicoactivo”,

donde este material se caracteriza por ser ecológicamente amigable y posee propiedades físicas y químicas ideales para diferentes productos en el mercado, incluyendo la industria ladrillera.

El cáñamo industrial propone una oportunidad de construcción sostenible ya que posee una fibra vegetal llamada “cañamiza” que puede utilizarse para la creación de nuevos materiales como el “ladrillo de cáñamo”, ofreciendo un modelo de infraestructura innovadora que puede sustituir a los ladrillos convencionales fabricados con arcilla, dado que este producto no requiere procesos productivos de cocción, lo que minimiza la contaminación en el aire (Garcés, 2016). Según el Hemp Industry Association, cooperativa de cáñamo con sede en Canadá, se logró producir 620 millones de dólares en el año 2014 en los Estados Unidos por venta de productos a base de cáñamo; En Canadá, Europa y China ven este componente como una oportunidad de sostenibilidad y desarrollo del potencial industrial de esta planta, se estima que el cáñamo puede ser utilizado como la base de producción de alrededor de 25.000 productos de diferentes mercados (agricultura, textiles, reciclaje, automotores, nutrición, papel, construcción y cuidado personal), que además cumplen con el certificado de ser “eco-friendly”. (Ospina Pedraza, 2019)

Es por eso que, la construcción es una de las principales fuentes de deterioro del medio ambiente, pese a lo cual la implementación de materiales ecológicos como el ladrillo de cáñamo industrial se hace indispensable para prolongar y restaurar el daño generado al ecosistema, dado que se considera como una alternativa sostenible en la fabricación de ladrillos ecológicos, ya que sus fibras a base de cannabis no psicoactivo son altamente resistentes, térmicas y ecológicas, lo que lo hace ideal en el ámbito de la construcción. (Ramos Quevedo, 2019)

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento relacionado a las propiedades físico-mecánicas y económicas del ladrillo tradicional (arcilla) y el ladrillo ecológico (cañamo).

2.2 Objetivos específicos

Evidenciar las propiedades físico-mecánicas de cada bloque con el fin de realizar un comparativo cuantitativo entre los ladrillos convencionales (arcilla), respecto al ladrillo de cañamo industrial.

Realizar una comparación entre las ventajas y desventajas para ambos bloques (arcilla y cañamo industrial) con el propósito de identificar el uso apropiado del ladrillo de cañamo industrial.

Indicar puntos relevantes a nivel económico y financiero para el uso de los ladrillos de cañamo frente a los bloques tradicionales (arcilla) a partir del sistema constructivo de mampostería estructural.

3 Justificación

En Colombia y Latinoamérica, se evidencia poco compromiso con el reciclaje y con la implementación de nuevas alternativas constructivas de carácter ecológico en comparación con países desarrollados, esto según el Índice de Desempeño Ambiental elaborado por el instituto Practica Global, el cual especifica que algunos países como Suiza, Luxemburgo, Australia, entre otros; se preocupan en poner en práctica medidas de estricto cumplimiento por parte de los entes encargados de la regulación y cuidado del medio ambiente, con el fin de reducir el deterioro ambiental a largo plazo e impedir que pueda ser considerado perjudicial para la salud en un futuro cercano; es así que la necesidad de encontrar un nuevo material para la construcción en Colombia y el mundo ha permitido estudiar, analizar e indagar la fibra de cáñamo, la cual se compone de fibra de paja (cañamiza) que representa aproximadamente dos tercios del volumen del tallo del cáñamo, lo cual reduce los costos debido a que representa el derivado más económico de esta planta (Brummer, 2015); así mismo, la implementación del cáñamo ofrece varios beneficios ambientales ya que desde su cultivo se genera una “agricultura amigable” con el ambiente debido a que su cosecha es libre de nutrientes para parásitos, además que posee excelentes cualidades para el suelo, y alcanza su punto de cosecha en periodos de tiempo muy cortos “el cáñamo de fibra esta normalmente listo para cosechar en 70 a 90 días después de la siembra” (NewAgeHemp,2022)

Por este motivo se justifica el proyecto al presentar los beneficios ambientales, sociales y económicos que trae el cáñamo como material de construcción, buscando incentivar una estrategia de implementación innovadora y amigable con el medio ambiente, al sustituir los materiales tradicionales, aprovechando los beneficios que ofrece la naturaleza para ser integrados en el diseño de estructuras a partir del sistema de mampostería estructural.

4 Estado del arte

El ingeniero Giovanni Salas Araque identifico dentro del proceso de construcción de viviendas de interés social en la ciudad de Bogotá, que es necesario tener en cuenta procesos constructivos que disminuyan los costos y también procuren tener un bajo impacto sobre el medio ambiente. En Colombia, la mayoría de sistemas constructivos existentes, incluyen sistemas industrializados, lo que perjudica la utilización de nuevos materiales que sustituyan los tradicionales; uno de los materiales estudiados por este autor fue la fibra de cáñamo industrial , una parte de su análisis la enfoco en estudiar sus propiedades, características mecánicas, proceso de elaboración, sus aspectos y consideraciones constructivas, entre otros, esto con el fin de categorizar este material como una alternativa sostenible para este tipo de viviendas. (Araque Salas, 2003)

En el año 2004 en la ciudad de Juárez – México, María de Lourdes, Gustavo Córdoba y Luis Cervera presentaron un artículo donde evaluaron la situación urbano-ambiental que se presentaba en los hornos ladrilleros de esa ciudad, con la intención de determinar si el sector informal de esta industria podría innovar e implementar un sistema ecológico en la producción de este insumo, sin embargo a pesar del fuerte impacto en el medio ambiente a nivel de contaminación atmosférica , el contexto socioeconómico de los trabajadores hace difícil llevar a cabo los cambios que implican un modelo sostenible. (De Lourdes, Cordoba, & Cervera, 2004)

Cristian Sacaluga analizo el diseño sustentable evolucionando desde sistemas tradicionales a métodos donde se trata de imitar los procesos de la naturaleza, que nos muestra como los residuos de una especie son recursos valiosos para otra, en conclusión, esta investigación busca la reutilización de materiales alternos como el cáñamo en el sector de la construcción resaltando las características y ventajas que tiene la utilización de este tipo de ladrillo, como es la regulación de la temperatura y la humedad, resistencia al fuego y su sostenibilidad con el medio ambiente. (Nuñez Sacaluga, 2015)

La arquitecta Monika Brummer presento un artículo donde relacionaba diferentes aspectos del cáñamo en el sector de la construcción, sus antecedentes, materiales y técnicas, allí expuso las ventajas de utilizar este material innovador en el sector de la construcción y concluyó que el

cañamo tiene una alta versatilidad en cuanto al uso de su fibra, paja, semillas, hojas y flores, lo que deriva en una variedad de productos (medicinales, diseño industrial, biocombustibles, papel, industria textil, diversos materiales para la construcción, entre otros), lo que hace que este componente sea apto en la aplicación en la construcción. (Brummer, 2015)

Angie Quevedo evaluó la viabilidad técnica, económica y financiera para la implementación de una empresa de fabricación y comercialización de ladrillos ecológicos a base de cañamo en la ciudad de Bogotá, esto con el fin de mitigar la contaminación ambiental generada por los mecanismos tradicionales y proponer una arquitectura sustentable como una nueva forma de construcción ;el cañamo puede hacer que las viviendas sean mucho más ecológicas, ya que es un material bastante moldeable y cumple con las características mínimas para ser utilizado en el sector de la construcción. (Ramos Quevedo, 2019)

Por medio de ensayos de laboratorio el ingeniero Oscar Ospina Pedraza determino que, el ladrillo hecho a base de cañamo fue expuesto a pruebas de absorción y compresión, regida por la NTC 4205 y NTC 4017, donde se comparó su comportamiento con el ladrillo de arcilla convencional, obteniendo como resultados una absorción de agua del 1.07% cumpliendo con lo establecido en la NTC 4205 y por su parte la resistencia a la compresión fue de $35.15 \frac{Kgf}{cm^2}$ que según la NTC 4205 cumple con los requerimientos permitidos de la norma donde establece un rango mínimo de $\geq 30 \frac{Kgf}{cm^2}$ y una resistencia máxima de $\geq 50 \frac{Kgf}{cm^2}$; sin embargo, se determinó que los costos pueden ser elevados, ya que este ladrillo ingresaría al mercado nacional con un precio de venta de \$2.510 pesos por unidad, lo cual contrarresta con sus ventajas en el ámbito ambiental. (Ospina Pedraza, 2019)

Por medio de ensayos de laboratorio en el año 2021 en la ciudad de Bogotá, José Bermúdez, Miguel Cifuentes Y María Daza realizaron dos pruebas a los ladrillos (arcilla y cañamo), una a las 72 horas de secado y otra a los 30 días de secado, esto con el fin de comparar la diferencia de resultados en diferentes tiempos para ambos bloques. En la prueba de absorción del agua se obtuvo para el primero un resultado de 18.4% y para el segundo 14.4%, cumpliendo con el mínimo establecido en la NTC 4017. En cuanto a la resistencia a compresión, arrojó a los 30 días un

resultado de 36.4 Mpa, lo cual indica que cumple con los estándares mínimos de la norma ≥ 30 y una resistencia máxima que sea ≤ 50 . (Bermúdez Rojas, Cifuentes Baquero , & Daza Gómez , 2021)

En el año 2021, en la ciudad de México- estado de Durango, los autores realizaron un artículo de investigación que pretende evaluar y comparar la resistencia a la compresión del ladrillo de cañamo contra el ladrillo convencional, obteniendo como resultados que para este ensayo en particular, los ladrillos ecológicos dieron 8.28 Kn/seg, mientras que en los ladrillos convencionales fue de 5.69 Kn/seg. Estos autores dejan claro que el cañamo se puede utilizar a gran escala en múltiples países porque crece en diferentes suelos, climas y altitudes, reemplazando materiales de construcción no basados en recursos renovables. (Fernández Méndez, Ramírez Aldaba, & Lara Castro , 2021)

La Arquitecta Alicia de la Fuente Alejandre, expuso los principales problemas presentados por la arquitectura en cuanto al impacto ambiental, centrándose en lo relacionado a la materialidad, consumo de recursos naturales, gasto energético y las emisiones en las que se traduce la construcción; se plantearon varios tipos de materiales que podrían postularse como futuros protagonistas de una arquitectura más respetuosa con el medio ambiente, entre estos se encuentra el cañamo industrial, donde se evidencio sus principales características y las ventajas que este elemento innovador posee frente a lo convencional. (De la Fuente, 2019)

Según un estudio realizado por el licenciado Oscar Pino Herrera, se argumenta que el cultivo de cañamo industrial no existe en el Ecuador, sin embargo, se establecieron procesos que abren las puertas para el desarrollo de ese cultivo en el país. Se plantea una alternativa de emprendimiento agrícola para el desarrollo y procesamiento de esta planta, con el fin de generar la posibilidad de implementar las ventajas que posee este material e ingresar en el mercado alemán; se plantean unos antecedentes, la potencialidad que tiene este cultivo de acuerdo a la geografía de este país, usos comerciales, ventajas productivas, entre otras. (Herrera Pino, 2019)

Por otro lado, en un estudio denominado “Cañamo: Beneficios ambientales de la planta de los mil usos” se describen los diversos usos que tiene el cañamo como material innovador, sus beneficios ambientales y su componente histórico en cuanto al descubrimiento de emplear esta

planta en muchos ámbitos cotidianos, incluyendo la construcción. (Pharmacology University, 2021),

En el año 2021 Jhon Ríos y Jorge Martínez, propusieron el análisis de la viabilidad económica, técnica y financiera para la producción de ladrillos de cañamo en la ciudad de Santiago de Cali, se plantea con el fin de la utilización de materias primas amigables con el medio ambiente, métodos de producción, entre otros; se evaluó los usos en el ámbito de la construcción de ladrillos convencionales (arcilla) y de ladrillos de cañamo industrial, con el propósito de hacer una comparación detallada de las ventajas y desventajas que presentan ambos bloques. (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021)

Henry Gallegos Dávila en el año 2021, presento un estudio sobre el aprovechamiento del cañamo industrial como una potencial alternativa para la reactivación económica en Ecuador tras la crisis del Covid-19; este autor se enfocó en el ámbito económico, el enfoque legal y el enfoque agrícola e industrial donde se evidencio la potencialidad que tiene este material en diferentes ámbitos derivados del cañamo. (Davila Gallegos, 2021)

5 Metodología

La metodología aplicada en esta monografía será de carácter cualitativo ya que está orientada a recopilar, sintetizar y comprender información, dentro del marco de la mampostería estructural y se aspira dar cumplimiento a los objetivos planteados en el presente documento. De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se dispone la siguiente tabla que describe el objetivo, la actividad, descripción y actores que influyen en el avance de esta investigación.

Evidenciar las propiedades físico-mecánicas de cada bloque con el fin de realizar un comparativo cuantitativo entre los ladrillos convencionales (arcilla), respecto al ladrillo de cañamo industrial.

Tabla 1. Metodología

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Evidenciar la comparación de las propiedades físico-mecánicas para ambos bloques (arcilla y cañamo industrial), de acuerdo con el cumplimiento de las exigencias mínimas normativas.	Revisar bibliografía técnica que permita establecer el cumplimiento de los requerimientos mínimos permitidos.	A partir del análisis bibliográfico verificar el cumplimiento de la normatividad vigente (NTC 4205 y NTC 4017), en cuanto a las propiedades físicomecánicas de cada bloque de estudio (arcilla y cañamo).	Repositorios académicos e institucionales, tesis, monografías, NTC.
Realizar una comparación entre las ventajas y desventajas para ambos bloques (arcilla y cañamo industrial) con el propósito de identificar el uso apropiado del ladrillo de cañamo industrial.	Realizar una investigación de las principales ventajas y desventajas referente a cada bloque estudiado. (Cañamo y arcilla) con el fin de generar un concepto apropiado del uso de los mismos.	Partiendo del análisis de las ventajas y desventajas de los ladrillos convencionales frente al cañamo industrial, se genera un concepto investigativo en cuanto a viabilidad y aporte en sistemas constructivos.	Repositorios académicos e institucionales, tesis, monografías.

Tabla 1. Continuación.

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Indicar puntos relevantes a nivel económico y financiero para el uso de los ladrillos de cañamo frente a los bloques tradicionales (arcilla) a partir del sistema constructivo de mampostería estructural.	Verificar los diferentes usos del cañamo en diferentes contextos, y comparar variables a nivel económico y financiero.	Referente a las fuentes de informaciones investigadas, definir la viabilidad del uso del cañamo como una alternativa ante el tradicional.	Repositorios académicos e institucionales, tesis, monografías.

6 Desarrollo

6.1 Etapa uno: propiedades físico - mecánicas de cada bloque de estudio.

Para la elaboración de este material constructivo, es necesario comprender ciertas particularidades fundamentales en el proceso de transformación de los insumos de la siguiente manera: extracción de los principales componentes en cada bloque, proceso constructivo, tipología y las características mecánicas proporcionadas por diversos autores en el ámbito de la mampostería estructural, esto con el fin de evidenciar y sintetizar las diferencias entre ambos bloques de estudio.

6.1.1 Extracción del material

6.1.1.1 Cáñamo industrial

Figura 1. Cultivo de cáñamo industrial.



Nota: Tomado de la revista de la cultura del cannabis.

Este material se desarrolla de manera conveniente en suelos con drenaje eficiente, de alta fertilidad, ricos en material orgánico y con un PH natural o un poco bajo del neutro. (Kaiser, Cassady, & Ernst, 2015). Para el cultivo, la plantación ideal debe contener una profundidad de $\frac{1}{4}$ de pulgada, dado que esta germina de manera más adecuada en un terreno firme (Kaiser, Cassady, & Ernst, 2015). Sin embargo, cuando se presentan condiciones inadecuadas en los campos de producción, deficiencias en el drenaje o suelos bajos en materia fértil; la calidad de la planta sufre alteraciones en su proceso de germinación. Según los autores, el mejor rendimiento del terreno es

obtenido cuando el suelo de cultivo tiene los mismos insumos que el maíz o el trigo (Kaiser, Cassady, & Ernst, 2015).

La semilla de cáñamo industrial puede llegar a ser bastante sensible a la humedad del suelo durante la siembra, sin embargo, este rasgo aún no está cuantificado de manera precisa, pero puede llegar a mejorar la práctica (Williams & Mundell, 2015). Las semillas deben ser plantadas en el suelo con una humedad adecuada para estimular la rápida germinación. La temperatura adecuada del suelo es de ≥ 50 grados F y la humedad a la hora de plantar ayuda a conseguirla (Williams & Mundell, 2015). La profundidad recomendada de plantación no debe ser superior a 1 pulgada y además la semilla debe ser perforada en un labrado convencional o en un protocolo de no labrado. (Williams & Mundell, 2015).

Este material cuenta con características que hacen del mismo un cultivo que cuida el ambiente, puesto que la planta del cáñamo industrial bio-almacena el carbón; es decir que mientras el cultivo está en la tierra, puede absorber el carbón por un proceso denominado “bio-captura” (Johnston, 2016); esto gracias a que la planta, posee en sus raíces una cualidad de absorción de metales pesados que llegan a captar el carbón que se encuentre en el suelo (Johnston, 2016). Convirtiéndose así en una alternativa ecológica que genera valor agregado a partir de sus ventajas desde su proceso de producción al cambio climático que atraviesa el planeta (Herrera Pino, 2019).

Por otro lado, el cáñamo es competitivo junto con las malas hierbas debido a su rápido crecimiento, según estudios realizados los cultivos densos de este insumo dejarán de lado la producción de hierbas malas después de 3 a 4 semanas (Kaiser, Cassady, & Ernst, 2015). Otra ventaja es que debido a que la planta es robusta y resistente no requiere el uso de pesticidas, pocas plagas de insectos son conocidas en las plantaciones de cáñamo y los problemas de hongos son escasos, lo que hace que se reduzcan en su gran mayoría los impactos generados al medio ambiente por otro tipo de plantaciones. (Johnston, 2016) además la planta puede ser cultivada en diferentes tipos de clima y ya que se considera un cultivo anual, hace que sea un perfecto cultivo de rotación. (Johnston, 2016)

6.1.1.2 Arcilla

Figura 2. Extracción de arcilla.



Nota: A partir de dreamstime

La actividad minera es uno de los mayores instrumentos de degradación ambiental, especialmente cuando se practica de manera irregular (Mechi & Sanchez, 2010). La extracción de arcilla es una de las formas más impactantes de la minería, ya que generalmente se realiza a cielo abierto y en áreas cercanas a recursos hídricos, lo que genera a su vez un alto deterioro en la flora y fauna del lugar de extracción. (Mechi & Sanchez, 2010); por lo regular, los lugares más recomendados para la explotación de este insumo son terrenos bajos, aluviales y en forma de valle, siempre asociados a un cuerpo de agua como río, laguna, arroyo, que causa impactos en estos recursos más allá del suelo, relieve, aire e impactos visuales negativos por la caracterización estética errónea del paisaje original. (De Lima Almeida, 2020). Esto significa que, en el desarrollo de las actividades, se deben establecer las condiciones de este material en cuanto a zonas de amortiguación, para saber si son explotables o no.

6.1.2 Proceso productivo

6.1.2.1 Cáñamo industrial. En el proceso de producción del ladrillo ecológico a base de cáñamo, la principal materia prima es la fibra de cáñamo, dado que en términos productivos este material permite la reducción de tiempos durante producción, asociado a la disminución de las actividades en comparación con el ladrillo tradicional, además de propiciar un proceso productivo

absolutamente amigable con el medio ambiente, al no necesitar la extracción de material y la utilización de hornos para el proceso de secado del mismo. (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021)

El ciclo de vida de estos bloques tiene cuatro etapas principales que corresponden a producción, transformación, recuperación y aplicación. (Araque Salas, 2003)

- **Producción:** Es el proceso en el cual se lleva a cabo el mezclado de los componentes con el agua, elaborando el mortero base del bloque.
- **Transformación:** Se dosifica el mortero base y se introduce en una prensa que permite obtener el bloque requerido. Se aísla el bloque de cualquier condición climática existente durante 28 días.
- **Recuperación:** El bloque anterior puede ser molido y reutilizado para la producción de nuevos bloques.
- **Aplicación:** Es un material aplicable a la elaboración de muros estructurales, tabiquerías interiores, muros de entramado de madera, muros de fachada, muros decorativos sin revestir, entre otras.

Figura 3. Ladrillo de cáñamo



Nota: A partir de Elmundo, 2008

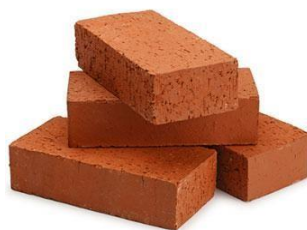
6.1.2.2 Arcilla. En el proceso de producción del ladrillo convencional, la principal materia prima es la arcilla, este material se desarrolla a partir de la cocción de este insumo y es necesaria

la utilización de hornos en el proceso de secado, por lo tanto, hace que el desarrollo de los ladrillos sea más extenso y perjudicial para el medio ambiente. (Univio Lizcano, 2017)

Los procedimientos de producción son complejos, partiendo de la extracción minera para la arcilla y el carbón, este consiste en cinco fases fundamentales que son: extracción, preparación de arcillas, moldeo, secado y cocción. (Univio Lizcano, 2017)

- **Extracción minera:** Consiste en la recopilación de material arcilloso, generalmente de minas, o canteras a cielo abierto.
- **Preparación de arcillas:** La arcilla es dejada al aire libre para favorecer la desintegración de esta, luego se mezcla con arena, dejándose en reposo en un proceso denominado “envejecimiento” que favorece la elaboración de los ladrillos.
- **Moldeo:** Esta operación no es riesgosa con el medio ambiente, ya que la rotura de los materiales se realiza por rozamiento y no por impacto.
- **Secado:** Consiste en la exposición de los ladrillos a temperatura ambiente.
- **Cocción:** Cabe resaltar que es el proceso de mayor impacto ambiental en todo el ciclo, ya que es necesario un alto contenido de carbón y quema de combustible. Se inicia con una quema de madera, para generar los gases calientes que causaran el cocido de los ladrillos de arcilla y lo llevaran a ser ladrillos refractarios. Se continua con la quema de madera dos días continuos (día y noche) y finalmente, se suspende la quema y se inicia el periodo de enfriamiento que toma dos días.

Figura 4. Ladrillo de arcilla.



Nota: A partir de Arkiplus

6.1.2.3 Comparativo del proceso productivo del ladrillo ecológico hecho con cáñamo industrial y el ladrillo hecho con arcilla. Como podemos observar en la tabla 2, el proceso productivo del ladrillo ecológico es más rápido, no hay alteraciones al medio ambiente en ninguna

de sus fases, se realiza de manera industrializada, su proceso de secado es completamente natural y este mecanismo requiere de menos operarios por la eficiencia que ofrece este producto industrializado. En este cuadro podemos evidenciar la comparación entre el proceso productivo del ladrillo convencional hecho con arcilla y el del ladrillo ecológico hecho con fibra de cañamo. (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021)

Tabla 2. Comparativo del proceso productivo del ladrillo ecológico hecho con cañamo industrial y el ladrillo hecho con arcilla.

Proceso productivo		
ítem	Ladrillo arcilla	Ladrillo ecológico
1	Extracción de arcilla	Cultivo de cañamo
2	Limpieza del material	Preparación de insumos de la mezcla
3	Preparación de insumos para mezcla en maquina	Moldeado
4	Reposo de la mezcla	Secado
5	Secado	Almacenamiento
6	Moldeado	Distribución y venta
7	Adecuación del horno	
8	Transporte al horno	
9	Cocción del ladrillo	
10	Extracción del producto del horno	
11	Almacenamiento	
12	Distribución y venta	

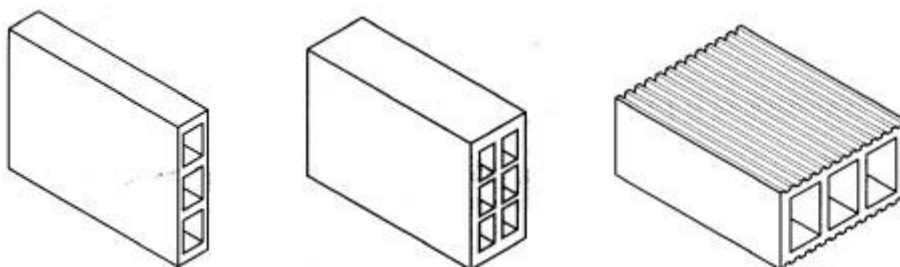
Nota: A partir de (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021)

6.1.3 Tipos más comunes

Según la NTC 4205, se distinguen tres tipos básicos de unidades de mampostería estructural, por lo cual, la aplicación de cada tipo dentro de la estructura debe estar acorde con los requisitos establecidos por el reglamento de construcciones sismorresistentes (NSR) vigente, con el fin de garantizar la estabilidad de la estructura. (Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC), 2009)

6.1.3.1 Unidades de perforación horizontal (PH). Se refiere a ladrillos cuyas celdas o perforaciones son paralelas a las caras o superficies en que se asientan en el muro. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC), 2009)

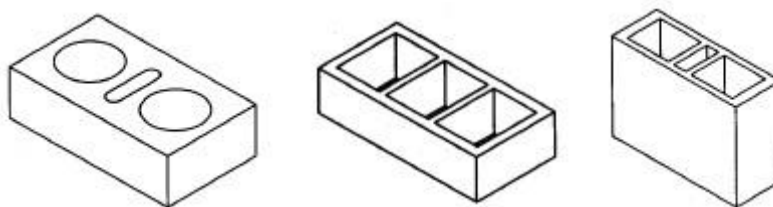
Figura 5. Unidades de perforación horizontal.



Nota: A partir de (Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC), 2009)

6.1.3.2 Unidades de perforación vertical (PV). Son unidades cuyas celdas o perforaciones son perpendiculares a las caras o superficies en que se asientan al muro. El área de las celdas o perforaciones, medida en una sección paralela a la cara en que se asienta no puede ser superior al 60% del área bruta de dicha sección. (Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC), 2009)

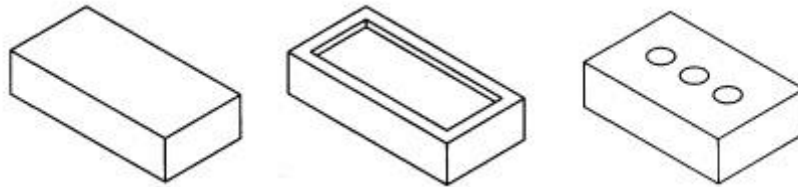
Figura 6. Unidades de perforación vertical.



Nota: A partir de (Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC), 2009)

6.1.3.3 Unidades Macizas (M). Son ladrillos sin perforaciones o que, si las tienen, no exceden el 25% del volumen total de la unidad. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC), 2009)

Figura 7. Unidades macizas.



Nota: A partir de (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC), 2009)

6.1.3.4 Comparación de los tipos de ladrillos. De acuerdo con lo mencionado en el apartado anterior, se puede inferir que el mercado de la mampostería estructural a nivel mundial es muy variable en cuanto a la forma y uso de cada bloque; a continuación, en la tabla 3, se presentan las unidades más comunes para ambos bloques (cañamo y arcilla) en el ámbito constructivo a nivel global.

Tabla 3. Comparación de los tipos de ladrillos

COMPARACION DE LOS TIPOS DE LADRILLOS			
TIPO DE LADRILLO	UNIDAD	EVIDENCIA	USO
CAÑAMO	Macizo (M)		-El bloque presentado tiene 25 cm de espesor ideal para interiores o aislamiento exterior. -Es adecuado para la construcción de paredes nuevas. -Se puede usar en todos los sistemas de construcción existentes como la mampostería. -Posee diversas características como son la homogeneidad de la pared, solución económica, comodidad para verano o invierno, abierto a la difusión del vapor de agua. (ISOHEMP natural building, 2022)
	Perforación horizontal (PH)		-El bloque en U está destinado para nuevas construcciones, satisfaciendo las estructuras portantes. -Este bloque tiene un hueco horizontal destinado para crear un refuerzo en la columna de soporte. -Sirve como encofrado y permite la unión de vigas sobre las cuales se colocan el piso o el techo. -Posee diversas características como son la homogeneidad de la pared, solución económica, comodidad para verano o invierno, abierto a la difusión del vapor de agua. (ISOHEMP natural building, 2022)

Tabla 3. Continuación.

COMPARACIÓN DE LOS TIPOS DE LACRILLOS			
TIPO DE LADRILLO	UNIDAD	EVIDENCIA	USO
ARCILLA	Perforación vertical (PV)		-Se utiliza para nuevas construcciones -Permite la creación de estructuras portantes. -Este bloque posee un rectángulo vertical destinado a el vaciado de hormigón armado para las columnas de apoyo. -El uso de este sistema crea homogeneidad optima. -Está asociada con los bloques en U para crear vigas de collar. (ISOHEMP natural building, 2022)
	Macizo (M)		-Posee excelentes aracterísticas a factores externos de absorción, compresión y flexión. -Tiene diversas aplicaciones como fachadas, adoquines, divisorio, entre otras. (NovArcillas, 2022)
	Perforación horizontal (PH)		-Se utilizan con el fin de no soportar cargas excesivas. -Una de las aplicaciones mas conocidas son, para la construcción de muros divisorios. (Ladrilleria Santafé, 2022)
	Perforación vertical (PV)		-Tiene diferentes usos como la mampostería estructural, muros de mampostería reforzada, muros divisorios, entre otros. (Ladrilleria Santafé, 2022)

Cabe resaltar que en la tabla anterior se muestran algunos ejemplos de los tipos más comunes en el mercado ladrillero del mundo, sin embargo, existe mucha variedad en cuanto a los usos y especificaciones de este material constructivo en particular.

6.1.4 Características físico-mecánicas

Las propiedades físicas de los ladrillos se refieren al conjunto de características basadas principalmente en la estructura del material, las cuales se obtienen sin transformar su composición; estas propiedades son visibles y medibles (Puentes Cassab, 2021). De acuerdo con la NTC 4051, entre estas propiedades se encuentran las dimensiones, forma, color, entre otros. (Norma Técnica Colombiana NTC 4051, 2005).

Las propiedades mecánicas de los ladrillos son aquellas que representan el comportamiento de un material ante la aplicación de agentes externos como acciones o fuerzas sobre él. Entre estas propiedades tenemos la resistencia a la compresión, módulo de rotura, absorción de agua, entre otros. (Puentes Cassab, 2021)

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se presentarán cuatro casos de estudio realizados en diferentes partes del país, donde se observarán ciertas de las propiedades físico mecánicas descritas, con el objeto de realizar un comparativo y verificar su cumplimiento de acuerdo con la normativa colombiana vigente para los diferentes ensayos en el ladrillo ecológico hecho con cáñamo industrial y el ladrillo hecho con arcilla.

6.1.4.1 Caso 1: Diseño de modelo de negocio verde a partir de la producción de ladrillos a base de cáñamo industrial en la ciudad de Bogotá. AUTOR: Oscar Andrés Ospina Pedraza. En la figura 8, el autor presenta los cinco productos mínimos viables que diseño durante toda su investigación, sin embargo, cabe resaltar que se escogieron los 3 ladrillos macizos que mostraban el mejor proceso de secado para las pruebas.

Figura 8. Productos mínimos viables de ladrillo ecológico de cáñamo industrial.



Nota: A partir de (Ospina Pedraza, 2019)

En la siguiente tabla 3 se presentan las medidas y pesos de los materiales utilizados en la fabricación del ladrillo ecológico de cañamo, se emplearon cinco materiales para la fabricación del producto final, entre ellos se encuentra el cañamo, aditivo de cal, aditivo de cemento, arena y agua.

Tabla 4. Medidas y pesos para cada muestra.

Muestras	Medidas (partículas) en (mm)	Cañamo (gr)	Aditivo de cemento (gr)	Aditivo de Cal (gr)	Arena (gr)	Agua (ml)	Peso (gr)
L1	21.2 (fino)	90.19	200	200	400	300	1190.1
L2	35.6 (medio)	110.45	150	150	300	300	1010.4
L3	48.3 (grueso)	190.34	150	150	200	350	1040.3

Nota: A partir de (Ospina Pedraza, 2019)

Las pruebas mecánicas realizadas por el autor se basaron en la determinación de la calidad del ladrillo, teniendo en cuenta las normas técnicas colombianas NTC 4017 y la norma ASTM 109, puesto que estas normas se encargan de evaluar los ladrillos cerámicos, se tomó la decisión de estimar los ladrillos ecológicos de cañamo industrial bajo sus lineamientos, ya que el objetivo es reemplazar este material de construcción. (Ospina Pedraza, 2019)

● Prueba de absorción de agua:

Se escogieron los tres ladrillos mencionados anteriormente junto con un ladrillo de prueba de arcilla convencional con dimensiones de 24 cm de largo, 12 cm de ancho y 5.5 cm de alto, se pesaron cada uno de los ladrillos secos y luego se sumergieron en un recipiente por 30 minutos, luego se procedió a secarlos y volver a pesar cada muestra, con el fin de determinar el % de absorción de cada uno. (Ospina Pedraza, 2019)

Después de la etapa de secado de los ladrillos, se observó que el peso de cada producto disminuyó como se observa en la tabla 4, esto fue originado debido a que, en el proceso de secado, los ladrillos fabricados (cañamo) eliminaron naturalmente la humedad de exceso, en la siguiente

tabla se presentan los porcentajes de la composición de los ladrillos en peso y su porcentaje de absorción. (Ospina Pedraza, 2019)

Tabla 5. Prueba absorción de agua.

Muestras	% de material en la elaboración				Pesos		% Absorción
	% cáñamo; % agua	% arena	% cal	% cemento	Inicial (gr)	Final (gr)	
L1	7.57; 25.20	33.60	16.80	16.80	1000	1050	4.7
L2	10.93; 29.68	29.68	14.84	14.84	900	932	3.4
L3	18.29; 33.64	19.22	14.42	14.42	920	930	1.07
Larcilla	Arcilla	Arcilla		Arcilla	3000	3200	6.2

Nota: A partir de (Ospina Pedraza, 2019)

Según la NTC 4205, la absorción de agua en interiores por unidad debe ser máximo 20% y 14% en exteriores por unidad, se puede concluir que, de acuerdo con los resultados de la investigación realizada por el autor, los ladrillos estudiados cumplen con los requerimientos pactados por la norma.

Figura 9. Ensayos absorción de agua



Nota: A partir de (Ospina Pedraza, 2019)

En la figura 9 se evidencia la prueba de absorción de agua en la que se vieron involucrados ambos bloques de estudio.

● *Prueba de compresión*

En la tabla 5, se puede evidenciar que el autor aplicó para la prueba de compresión los requerimientos necesarios regidos por la norma ASTM 109, donde se utilizó una prensa hidráulica de 40 t o 80.000 PSI, con el objeto de medir la cantidad de toneladas o PSI que resistía cada ladrillo antes de fracturarse.

Tabla 6. Prueba de compresión.

Muestras	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	% cáñamo	% cemento; % cal	% arena; % agua	Resultado (PSI)	Resultado (Kgf/cm ²)
L1	23	6	138	7.57	16.80; 16.80	33.60; 25.20	500	35.15
L2	24	10	240	10.93	14.84; 14.84	29.68; 29.68	400	28.12
L3	24	10	240	18.29	14.42; 14.42	19.22; 33.64	500	35.15
Larcilla	24	12	288	Arcilla	Arcilla	Arcilla	700	49.21

Nota: A partir de (Ospina Pedraza, 2019)

Según la norma ASTM 109 los valores de compresión mínimos y máximos están estandarizados de la siguiente manera, 30 Kgf/cm² y 50 Kgf/cm² respectivamente, de acuerdo a los resultados obtenidos por el autor se puede evidenciar que la muestra L1 y L3 cumplen con la norma ya que obtuvieron 35.15 Kgf/cm², sin embargo, el ladrillo de arcilla obtuvo un resultado mayor y pudo deberse a que durante el proceso de secado de arcilla se logra una mayor compactación de los componentes, diferente al producto mínimo viable del ladrillo ecológico que podría tener un % de humedad existente. (Ospina Pedraza, 2019)

● *Comparación de los ladrillos*

Este autor pudo concluir que después de realizadas las pruebas de absorción y compresión según la NTC 4017 teniendo en cuenta los parámetros de la norma ASTM 109 el producto mínimo viable de ladrillo ecológico que presentó los mejores resultados fue la muestra L3 (Cáñamo 18.29%, agua 33.64%, arena 19.22%, cal 14.42% y cemento 14.42%), se resalta que el peso de los

ladrillos disminuyó debido al proceso de secado natural; la resistencia a la compresión del mejor producto mínimo viable en comparación al ladrillo de arcilla es menores y además se evidenció que el ladrillo de cañamo tiene menor absorción y es más liviano por 2080 gr al ladrillo de arcilla. (Ospina Pedraza, 2019)

6.1.4.2 Caso 2: Estudio de viabilidad para desarrollar un emprendimiento, enfocado en la creación de una empresa productora de ladrillos ecológicos hechos con fibra de cañamo en el departamento del cauca. Autores: Jhon Stiven Rios Tocua; Jorge Yesid Martínez Segura. Los autores presentan un producto innovador y ecológico con el medio ambiente, el ladrillo está fabricado a partir de materia orgánica, fibras vegetales de cañamo industrial, cañamiza, cemento, arena, cal natural y agua. En la siguiente tabla 6, se evidencia una recopilación de algunas propiedades físico - mecánicas de la muestra. (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021)

Tabla 7. Propiedades físico – mecánicas ladrillo ecológico hecho con cañamo industrial.

Nombre comercial del producto	Ladrillo a base de cañamo
Fotografía	
Descripción del producto	Es un bloque conformado por fibras vegetales de cañamo industrial, cañamiza, cemento, arena, cal natural y agua.
Lugar de elaboración	Se elaboran en Colombia, Dpto. del Cauca
Características técnicas del ladrillo	• Dimensiones (cm): 23, ancho 10 y alto 7. • Peso: 3 kg • Resistencia térmica: 0.86 W/m • Densidad: 300 kg/m³ • % absorción de agua: 30.50 % • Resistencia a la compresión: 35.15 Kgf/cm²

Nota: A partir de (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021)

A partir de los resultados obtenidos de la muestra y con base a los requerimientos técnicos de la NTC 4205, se puede concluir que el espécimen no cumple los requisitos en cuanto al % de absorción de agua, puesto que el máximo permitido es de 13% para interiores y 13.5% en exteriores

respectivamente. Este alto porcentaje de absorción podría afectar la resistencia a la compresión del ladrillo.

Por otro lado, de acuerdo con la norma ASTM 109 para la prueba de resistencia a la compresión existen ciertos valores permitidos como son 30 Kg/cm^2 mínimo y 50 Kg/cm^2 máximo respectivamente, a partir de esto, se puede concluir que la muestra cumple satisfactoriamente con las exigencias mínimas de la norma.

6.1.4.3 Caso 3: Análisis físico y mecánico del ladrillo macizo “tolete común” producido en los chircales aledaños a la ciudad de Tunja. Autor: Cristian David Rodríguez Quiroga. En este caso el autor analizó ciertas propiedades físicas y mecánicas del ladrillo macizo de arcilla en ciudades aledañas a Tunja, esto con el fin de verificar el cumplimiento de las normas requeridas vigentes como son la NTC 4205 y la NTC 4017.

- **Prueba absorción de agua durante 24 horas:**

En esta prueba se analizó el porcentaje de absorción que tienen las unidades de ladrillo macizo de arcilla para cada ladrillera. A continuación, en la tabla 7 se ejemplifica los valores para uno de los casos de estudio.

Tabla 8. Ejemplo de cálculo para prueba de absorción de agua en una ladrillera.

MUESTRA #3						
Propiedad	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Wd (gr)	2.546	2.612	2.496	2.598	2.714	2.62
Ws (gr)	2.95	2.872	2.8	2.854	3.032	2.872
% absorción de agua	15.868	9.954	12.179	9.854	11.717	9.618
% promedio	11.532					

Nota: Ws: peso del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría; Wd: peso seco del espécimen., a partir de (Rodríguez Quiroga, 2017)

De acuerdo con lo anterior, en el estudio realizado por el autor, se ensayaron 8 especímenes de distintas empresas productoras de este material en la región. Esta información se presenta en la

tabla 8, donde se encuentra el % de absorción para cada industria y los requisitos a cumplir según la NTC 4205.

Tabla 9. Porcentaje de absorción promedio.

Muestras	% absorción ladrilleras	Norma % interior máximo (unidad)	Norma % exterior máximo (unidad)
#1	14	20	14
#2	12	20	14
#3	10	20	14
#4	14	20	14
#5	8	20	14
#6	16	20	14
#7	14	20	14
#8	13	20	14

Nota: A partir de (Rodríguez Quiroga, 2017)

Se puede concluir que para esta prueba todos los especímenes cumplen con los requerimientos exigidos por la NTC 4205 ya que la absorción de agua en interiores por unidad debe ser máximo 20% y 14% en exteriores por cada unidad.

● Prueba resistencia a la compresión:

Esta prueba se usa como control de calidad en su elaboración (dosificación de materiales, temperatura y tiempo de horneado) con la finalidad de conocer la calidad de los materiales y la materia prima utilizada en la fabricación por cada unidad. Cada elemento de mampostería debe cumplir con la resistencia mínima a la compresión que se encuentra en la norma NTC 4205, por lo cual el autor realizó los ensayos correspondientes a las muestras obtenidas en cada una de las

ladrilleras (Rodríguez Quiroga, 2017). Posteriormente en la tabla 9, se demuestra el procedimiento de este ensayo para una de las industrias de estudio.

Tabla 10. Resistencia a la compresión muestra #8

Muestra #8			
Propiedades	L1	L2	L3
W (Kgf)	13018	12601	12243
B (cm)	20.2	20.5	20.2
L (cm)	10.2	10.4	10.3
C (Kgf/cm ²)	63.182	59.104	58.844
Cprom (Kgf/cm ²)	60.377		

Nota: W: carga máxima; C: resistencia a la compresión, a partir de (Rodríguez Quiroga, 2017)

Este procedimiento se realizó para cada una de las ladrilleras. En la tabla 10, se observan los resultados promedio de cada industria para la prueba de compresión y el valor mínimo requerido por unidad según la NTC 4205.

Tabla 11. Resultados generales del ensayo de resistencia a la compresión para cada una de las ladrilleras

Prueba resistencia a la compresión (Kgf/cm ²)		
Muestra	Valor (Kgf/cm ²)	Valor mínimo requerido por unidad (Kgf/cm ²)
#1	13.972	10
#2	9.079	10
#3	11.956	10
#4	6.165	10
#5	15.133	10
#6	8.061	10
Prueba resistencia a la compresión (Kgf/cm ²)		
Muestra	Valor (Kgf/cm ²)	Valor mínimo requerido por unidad (Kgf/cm ²)
#7	6.038	10
#8	6.695	10

Nota: A partir de (Rodríguez Quiroga, 2017)

Según la NTC 4205, para los ladrillos de tipo macizo, los valores mínimos de resistencia a la compresión por unidad de mampostería estructural ($15 \text{ Kg}/\text{cm}^2$) y para mampostería no estructural ($10 \text{ Kg}/\text{cm}^2$), respectivamente. Se puede concluir que, para mampostería estructural solo una industria de las estudiadas cumple con las exigencias mínimas requeridas, por otro lado, para ladrillos utilizados en la mampostería no estructural, tres de las industrias cumplen con las exigencias mínimas según la norma.

6.2 Etapa dos: Ventajas y desventajas del uso para el ladrillo ecológico de cáñamo industrial y el ladrillo convencional de arcilla

En el campo de la ingeniería civil intervienen varios materiales para llevar a cabo las construcciones de forma exitosa, de calidad y, sobre todo, seguras, uno de estos es el ladrillo. Este producto es muy utilizado alrededor del mundo gracias a que presenta buenas características físico – mecánicas y una variedad de ventajas para nuestro campo, sin embargo, su proceso de elaboración es un importante foco de contaminación para el medio ambiente. Hoy en día se buscan alternativas ecológicas en nuevos materiales de construcción, con el fin de presentar productos hechos de otros insumos que conserven las características necesarias para cumplir con los requerimientos mínimos permitidos. Por lo tanto, es necesario definir las ventajas y desventajas que presenta cada bloque de estudio con la finalidad de determinar si el material investigado dispone diferencias considerables que mejoren algunos aspectos en el sector de la construcción.

6.2.1 Cáñamo industrial

6.2.1.1 Ventajas. En cuanto al cultivo de cáñamo una de las principales ventajas es la velocidad de crecimiento de la planta, ya que ésta en un tiempo promedio de 3 a 4 meses puede alcanzar alturas de aproximadamente 4 metros (dependiendo las condiciones del cultivo); además puede ser cultivado orgánicamente evitando el empleo de químicos nocivos para el medio ambiente, es decir, no se necesita el uso de pesticidas, ni herbicidas; sin embargo, para mejorar su rendimiento, se recomiendan suelos ricos en nutrientes (de baja acidez y bajo contenido de metales pesados) y un buen suministro de agua. Esta planta en general mejora el rendimiento de futuros cultivos en el suelo debido a que devuelve al terreno aproximadamente un 38 – 40% de la

extracción de minerales que realiza durante su crecimiento. Estos aspectos convierten al cáñamo en un cultivo económicamente viable, debido a su rápido crecimiento y sus bajos requerimientos de mantenimiento. (Dávila Gallegos, 2021)

De la misma forma, la cañamiza a pesar de ser un material orgánico no contiene proteínas nutritivas para microorganismos como parásitos o bacterias que ocasionen problemas en las construcciones como putrefacción, aparición de hongos y parásitos vegetales, además, este material se mezcla con cal para mejorar su rendimiento y evitar los problemas mencionados anteriormente (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021). Por ser un material ecológico se evita la explotación de recursos naturales, daños en la capa vegetal y en el proceso de producción del ladrillo se evitan el uso de hornos para el proceso de secado, lo que disminuye en gran medida la contaminación atmosférica. Al utilizar fibras vegetales en el sector de la construcción, se obtiene una importante retención de CO₂ en el ciclo de vida útil de la obra, además se emplea un material con cualidades aislantes, que contribuye al ahorro energético de la obra y por consiguiente a la reducción de la contaminación ambiental. (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021)

Asimismo, el cáñamo dispone ciertas características en cuanto a conductividad térmica que le proporciona una alta capacidad aislante al frío, puesto que los minerales que proporciona este cultivo a los bloques aumentan la resistencia y protección del calor, por esta razón, este material se convierte en una buena opción en la construcción de viviendas en diferentes zonas con temperaturas diversas. Para el caso de Colombia, se podría utilizar en zonas costeras para protección del calor, o, por el contrario, en zonas de altiplanicie y paramos para la protección contra el frío. (Araque Salas, 2003).

En conclusión el ladrillo ecológico hecho a base de cáñamo industrial posee atributos únicos que brindan ciertas propiedades como son aislamiento térmico, acústico, una alta resistencia al fuego, es un material llamado “carbón cero”, es decir, retiene CO₂ y produce oxígeno, actúa como regulador de humedad lo que proporciona un mayor confort en la vivienda, aislamiento a radiaciones magnéticas y además de tener una larga vida útil, a la hora de necesitar una demolición a la vivienda, se puede reutilizar el material para crear nuevos ladrillos, por lo cual se reduce el

desperdicio de materiales de construcción nuevos que perjudiquen el ambiente. (Bermúdez Rojas, Cifuentes Baquero, & Daza Gómez, 2021)

6.2.1.2 Desventajas. Una de las desventajas más comunes para la fabricación de ladrillos ecológicos, consiste en la dinámica de producción de las ladrilleras tradicionales, puesto que sería necesario la adaptación del proceso productivo modificando la materia prima convencional (arcilla), por el cáñamo, incentivando el cultivo de esta planta por ellos mismos y así beneficiar la riqueza natural tanto en las zonas de cultivo, como en las zonas de producción, ya que reducirían costos de fabricación y contaminación. (Ospina Pedraza, 2019).

Por otro lado, la construcción de una vivienda a base de ladrillo de cáñamo ecológico podría ser más costosa, que la construcción de una vivienda convencional, dado a la desinformación que se presenta respecto a las bondades del cáñamo en un proceso constructivo, lo que significa a su vez que estos cultivos pueden ser muy difíciles de encontrar y de acuerdo con los lineamientos de relación demanda y oferta, si la oferta es baja, el costo es alto; y a medida que se implemente y aumente la producción del cáñamo, veremos una disminución en el precio de los productos de cáñamo para la construcción. (Ospina Pedraza, 2019). Por último, al ser un producto nuevo en el mercado, no existen diversas variedades decorativas en cuanto a este bloque, lo que genera una simplicidad visual en todos los productos fabricados.

6.2.2 Arcilla

6.2.2.1 Ventajas. La industria ladrillera es un foco fundamental en la economía de nuestro país, una de sus grandes ventajas es que, en vista de la generación de diversa demanda en la mano de obra focalizada en la extracción, proceso y distribución de estos productos de arcilla, se origina una gran fuente de empleos que benefician al sector productivo del país, según el inventario nacional del sector ladrillero en Colombia, esta industria genera más de 21.000 empleos fijos y cerca de 8.000 empleos temporales, lo que evidencia la importancia económica que esta actividad aporta para el país (CORPORACION AMBIENTAL EMPRESARIAL (CAEM), 2015). De igual manera el ladrillo de arcilla convencional es un producto con una alta demanda en el mercado que permite a los fabricantes de estos insumos lograr vender sus productos a un precio muy cómodo

para los clientes, quienes a su vez lo consideran como un elemento clave para realizar diferentes trabajos arquitectónicos, fortalecimiento y embellecimiento de las obras. Adicionalmente al ser un material conocido y versátil posee cualidades que le permiten ser utilizados en decoración de exteriores, ya sea de puertas, ventanas, entradas, pisos, etc. (Puentes Cassab, 2021)

De la misma forma, los materiales elaborados a base de arcilla como los ladrillos macizos, poseen ventajas significativas en la manipulación, puesto que al ser tan livianos se pueden transportar con gran facilidad de un lugar a otro; además su forma facilita la elaboración de cualquier tipo de obra civil, son aislantes térmicos, soportan altas temperaturas, su coeficiente de dilatación térmica son muy bajas por lo cual los ladrillos presentan variaciones bajas, soportan cargas a compresión altas, lo que garantiza en el sector la seguridad y durabilidad en las obras que se construyen. (Rodríguez Quiroga, 2017)

6.2.2.2 Desventajas. El proceso de producción del ladrillo de arcilla convencional genera un gran impacto ambiental en cuanto a emisiones atmosféricas relacionadas con el proceso de cocción y secado artificial, ya que se generan numerosas cantidades de contaminantes, como partículas de polvo, materias orgánicas y gases como dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO), azufre (S), monóxido de carbono (CO), entre otros (Paez Claro, 2020), estos contaminantes son producidos por esta actividad y perjudica la calidad del aire; también es común la inadecuada disposición de residuos sólidos a las fuentes hídricas, deforestación, degradación de terrenos y adicionalmente se ocasiona afectación a la salud de los trabajadores por la exposición permanente a factores como ruido, calor, polvo, excesivo esfuerzo físico, entre otros. (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR))

Para la extracción de la arcilla, al no ser un material ecológico, se requiere la explotación de recursos naturales que generan daños en la capa vegetal de origen, adicionalmente, para el proceso de cocción del ladrillo, es necesario el uso de hornos afectando la contaminación atmosférica y produce un gran impacto en la capa de ozono. (Rios Tocua & Martinez Segura, 2021)

6.3 Etapa tres: Puntos relevantes a nivel económico y financiero para el uso de los bloques en el campo de la mampostería estructural.

A nivel global, el campo de la mampostería estructural está compuesto por una gran variedad de materiales tradicionales de todo tipo, que contribuyen directamente a obtener un mayor grado de eficiencia en una construcción, puesto que minimizan algunos problemas comunes de carácter estructural como son, aislamiento, humedad, filtraciones, etc., estos inconvenientes son menos frecuentes cuando se utilizan materiales de construcción de alta calidad; no obstante, la contaminación generada en su proceso productivo incentivan a innovar e incluir diferentes materiales ecológicos, que cumplan con todos los requerimientos mínimos según las normas NTC 4205, NTC 4017 y ASTM 109, con el objetivo de proporcionar seguridad, eficiencia y comodidad para brindar solidez en las obras de ingeniería civil, un ejemplo de esto , es la implementación del cáñamo en bloques utilizados en el campo de la mampostería estructural.

Sin embargo, actualmente Colombia exporta alrededor de US \$214.7 millones de materiales de construcción de los cuales el 30.4% (US \$65.260 millones) corresponden a la venta de productos elaborados con arcilla, según cifras de Proexport. En Colombia se producen 376.947 toneladas mensuales de ladrillo, es decir 4.523.367 al año. Dicho lo anterior, se puede evidenciar la amplia capacidad instalada que tiene el país para producir ladrillo tradicional de muy alta calidad (Ramos Quevedo, 2019). El ladrillo tradicional es un material universal que se clasifica en diferentes tipos, calidad, precios, entre otros; este componente posee muchas ventajas en el ámbito de la mampostería estructural mencionadas en la etapa anterior y como es un insumo sumamente común en las obras civiles, posee precios muy asequibles para los usuarios, a continuación en la tabla 11, se presentan algunos ejemplos en cuanto al precio de venta de este producto en algunas de las mayores empresas distribuidoras en el país.

Tabla 12. precio de venta ladrillos tradicionales.

Precio de venta ladrillos tradicionales.				
Distribuidora	Tipo de ladrillo	Precio de venta (peso colombiano)	Precio de venta (USD)	Precio de venta (EUR)
Mayorista (Homecenter)	Bloque #4 estándar  10x20x30 cm	900 UND	0.20 UND	0.20 UND
Mayorista (Homecenter)	Ladrillo prensado liviano  24.5x12x6 cm	1.900 UND	0.43 UND	0.43 UND
Minorista (Ferretería Canaima)	Ladrillo tolete común #3  37x11.5x25 cm	750 UND	0.17 UND	0.17 UND
Minorista (Ferretería Canaima)	Ladrillo farol liso 10x20x30 cm 	1.300 UND	0.29 UND	0.29 UND

Se debe agregar que, los ejemplos mencionados anteriormente no estandarizan este producto en el mercado nacional, ya que en la industria ladrillera los precios varían dependiendo de las características, materiales, distribuidor, entre otros; por lo que se puede concluir que es un insumo bastante voluble y muy asequible para el consumidor.

En cuanto a los ladrillos ecológicos hechos a base de cañamo industrial, es poca la información del valor real desde el proceso productivo hasta la distribución de este insumo en el mercado actual del país, a pesar de esto, el ingeniero Oscar Ospina realizó una investigación en donde cuantifico los gastos de un espécimen con una composición porcentual de (cañamo 18.29%, agua 33.64%, arena 19.22%, cal 14.41% y cemento 14.41%) desde su etapa de producción, hasta obtener un valor de producto final, cabe resaltar que los precios utilizados por el autor fueron extraídos en páginas como Homecenter y para el caso del cañamo en una página de mercado internacional llamada Alibaba. (Ospina Pedraza, 2019) En la tabla 12, se presentan los costos de fabricación del ladrillo macizo ecológico.

Tabla 13. Costos de fabricación del ladrillo ecológico.

Costos de fabricación del ladrillo ecológico.					
Cantidad	Producto	Valor UND (g)	Valor total (Peso colombiano)	Valor total (Peso US)	Valor total (EUR)
190 g	Cañamo (Planta)	\$ 2.8	\$532	0.12	0.12
200 g	Arena	\$0.45	\$90	0.20	0.20
150 g	Cal hidratada	\$1.09	163.5	0.37	0.37
Costos de fabricación del ladrillo ecológico.					
Cantidad	Producto	Valor UND (g)	Valor total (Peso colombiano)	Valor total (Peso US)	Valor total (EUR)
150 g	Cemento	\$0.436	\$65.4	0.015	0.015
350 ml	Agua	\$1.2	\$420	0.095	0.095
1	Maquinaria (chipeadora)	\$400	\$400	0.090	0.090
Total			\$1.670,9	0.89	0.89

Nota: A partir de (Ospina Pedraza, 2019)

El valor del producto final del ladrillo ecológico podría presentar variaciones dependiendo de los materiales utilizados, su composición y características requeridas, sin embargo, dado que el producto esencial (cañamo) muchas veces es traído del exterior, aumenta los costos en el proceso

de elaboración, cabe señalar que según el empresario textil Jorge Duque “Colombia tiene mas de 1500 licencias aprobadas para la siembra de cáñamo. Actualmente, los departamentos con más cultivos son Cesar, Valle del Cauca, Antioquia, Córdoba, Tolima, Huila y una parte muy pequeña de Nariño. También hay aproximadamente 40.000 hectáreas sembradas con cannabis en territorios indígenas, pero no tenemos conocimiento exacto de cuántas hectáreas de estas son de cáñamo.

Según nuestras estimaciones, serían alrededor de 10.000.” (Buitrago, 2021). Indiscutiblemente utilizar insumos nacionales en la elaboración de este producto disminuiría los costos del producto final, logrando incursionar en un mercado más equitativo y así en un futuro sustituir el ladrillo tradicional hecho con arcilla.

7 Conclusiones

Para el desarrollo de esta investigación cabe resaltar que las fuentes de información investigadas para los ladrillos de cáñamo industrial son en su mayoría del continente europeo, entre estas se destacan empresas internacionales como ISOHEMP que tiene sedes en Bélgica, Francia, Países Bajos, Italia y Alemania; y CANNABRIC que se sitúa en España, estas empresas son un claro ejemplo de fabricación de productos sostenibles en el sector de la construcción , ya que tienen como objetivo ofrecer confort y bienestar limitando el uso de productos que perjudiquen el medio ambiente y un ejemplo de esto es el ladrillo de cáñamo industrial. A nivel Latinoamérica es difícil encontrar información puesto que la implementación de cultivos es limitada, sin embargo, algunos autores han realizado estudios para la fabricación de este producto en el país , dando garantía de que esta iniciativa constructiva es novedosa, ayuda con la protección del medio ambiente, el proceso de fabricación elimina ciertos contaminantes existentes en la fabricación del ladrillo tradicional como por ejemplo: el material particulado originado en el proceso de cocción , además, se evita la tala de árboles para la quema en los hornos de cocción y secado , favoreciendo las emisiones de humo que contaminan el ambiente.

La situación actual de América Latina en cuanto a la construcción ecológica, representa una oportunidad para innovar en el sector de la mampostería estructural, ya que actualmente no se cuentan con muchas industrias con pensamiento ecológico que busquen crear alternativas para los insumos que se presentan en el mercado debido a que el ladrillo convencional hecho a base de arcilla posee grandes ventajas en sus propiedades físico – mecánicas y resulta más asequible por la facilidad de encontrar la materia prima en el mercado habitual, sin embargo, se deja a un lado el elevado deterioro ambiental que produce seguir utilizando este tipo de productos en el sector.

Por otro lado, la implementación de los ladrillos de cáñamo industrial son una gran alternativa debido a que las políticas gubernamentales en Colombia ya permitieron el comercio y venta a productos elaborados con cannabis, además debido a que el cáñamo industrial viene del cannabis no psicoactivo tiene menos requerimientos a la hora de su cultivo, lo que favorecería a la comunidad campesina y mediante la adaptación sistemática de las industrias ladrilleras se podrían producir un nuevo tipo de ladrillos que cumplen con todas las especificaciones en cuanto a textura,

dureza, resistencia y que además cuentan con ventajas competitivas frente al ladrillo tradicional como su capacidad de aislamiento térmico, bioclimático, una materia orgánica que evita el deterioro del suelo, proceso de secado al aire libre, entre otras, sin embargo, a nivel Colombia el ladrillo de cáñamo industrial se queda corto a nivel económico frente a su principal competencia que es el ladrillo de arcilla convencional, esto se debe a que los insumos necesarios para la elaboración de este material reciclable no están disponibles en el mercado habitual del país y hace que la diferencia en cuanto a precio de producto final sea de aproximadamente 900 pesos por encima según los estudios investigados en el presente documento, esto refleja que esta alternativa ecológica referente a la mampostería estructural es inviable frente al ladrillo convencional, pero si se incentivara la mejora de los procesos de producción de las industrias ladrilleras, este producto contaría con todos los requerimientos necesarios para ser un producto con alto potencial de oferta y demanda, que a su vez disminuiría el impacto ambiental y esto hará que la industria ladrillera se fortalezca como gremio al proponer alternativas de negocio sustentable que contribuya al cuidado del medio ambiente.

Indiscutiblemente el ladrillo convencional ha sido uno de los materiales de construcción más importantes alrededor del mundo gracias a todas las ventajas que este posee, sin embargo, hoy en día debido al acelerado deterioro ambiental, se busca implementar alternativas ecológicas que puedan sustituir a diferentes materiales existentes, sin dejar de lado los requerimientos mínimos de seguridad, eficiencia y comodidad. Es por esto que, los ladrillos ecológicos tienen un gran potencial en Colombia, al igual que el cultivo de la materia prima (cáñamo) donde se hace evidente que se requieren estudios que involucren el impacto ambiental, económico y social que tendría la extensión de este cultivo en las regiones aptas en el país y a su vez poner en práctica la fabricación de ladrillos ecológicos impactaría positivamente la económica local y nacional del sector ladrillero; y en un futuro impulsar a Colombia como principal exportador de estos insumos.

8 Referencias bibliográficas

- Araque Salas, G. A. (2003). Materiales alternativos para la reducción de costos en la edificación de vivienda popular. Universidad de los Andes, facultad de ingeniería, 2003, pp. 37 - 43.
- Bermúdez Rojas, J., Cifuentes Baquero, M. F., & Daza Gómez, M. J. (Mayo de 2021). Prototipo de ladrillo a partir de fibra vegetal de cáñamo, como una alternativa sostenible a los ladrillos de arcilla tradicional, usados en la construcción de edificios de uso residencial en la ciudad de Bogota. [Trabajo de grado, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca]. Repositorio. <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/3620>
- Brummer, M. (Mayo de 2015). El cáñamo en la construcción: antecedentes, materiales y técnicas. http://www.cannablic.com/prensa/el_canamo_en_la_construccion_05_15/
- Buitrago, P. (1 de Julio de 2021). *MasCOLOMBIA*. <https://mascolombia.com/columnista/paola-buitrago/>
- Claro Paez, J. (2020). Tipos de contaminantes atmosfericos asociados a la fabricacion de ladrillos artesanales en Colombia. [Monografía UNAD]. Repositorio Institucional <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34072>
- Corporación Ambiental Empresarial (CAEM). (2015). Inventario nacional del sector ladrillero colombiano. https://www.caem.org.co/wp-content/uploads/2021/01/13_inventario_Nacional_Ladrillero.pdf?x42968
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (s.f.). Oportunidades de producción más limpia en la industria ladrillera: Guía para empresarios. <https://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/36899>
- Davila Gallegos, H. (29 de Junio de 2021). Aplicaciones De Cáñamo Como Alternativa Rentable A La Reactivación Económica De Ecuador Tras La Pandemia De Covid-19. [Artículo académico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14601>
- De la Fuente, A. (Julio de 2019). Estudio de nuevos materiales sostenibles como alternativa a la construcción tradicional con ladrillo. [Trabajo de grado, Universidad de Valladolid]. Repositorio. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/37722>

- De Lima Almeida, J. (2020). Impactos Ambientales Provocados Por La Extracción De Arcilla En El Municipio De Ibiassucê-Ba. <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/medio-ambiente/extraccion-de-arcilla>
- Departamento Nacional de Estadística (DANE). (2018). Encuesta Anual Manufacturera. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin_eam_2018.pdf
- Esperanza, K. (11 de Julio de 2018). *Sector constructor genera 50% de emisiones contaminantes*. <https://centrourbano.com/construccion/constructor-genera-50-contaminantes/>
- Fernández Méndez, L., Ramírez Aldaba, H., & Lara Castro, R. (Octubre de 2021). Evaluación y comparativa de formulaciones de fibra de cáñamo con resistencia a la compresión en ladrillo ecológico compactado con ladrillos convencionales. https://www.researchgate.net/profile/Hugo-Ramirez-Aldaba/publication/356127877_EVALUACION_Y_COMPARATIVA_DE_FORMULACIONES_DE_FIBRA_DE_CANAMO_CON_RESISTENCIA_A_LA_COMPRESION_EN_LADRILLO_ECOLOGICO_COMPACTADO_CON_LADRILLOS_CONVENCIONALES/links/618cb8c9d7d1af224bd51e51/EVALUACION-Y-COMPARATIVA-DE-FORMULACIONES-DE-FIBRA-DE-CANAMO-CON-RESISTENCIA-A-LA-COMPRESION-EN-LADRILLO-ECOLOGICO-COMPACTADO-CON-LADRILLOS-CONVENCIONALES.pdf
- Gallo, C. (21 de Abril de 2021). *Se fortalece la producción de Cannabis en el Meta*. Obtenido de Periódico del meta: <https://periodicodelmeta.com/se-fortalece-la-produccion-de-cannabis-en-el-meta/>
- Garcés, A. (2016 de Septiembre de 2016). Cáñamo oportunidades de negocio que rompen paradigmas. <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2016/09/canamo-oportunidades-de-negocios-que-rompen-con-paradigmas-del-pasado/>
- Herrera Pino, O. F. (Febrero de 2019). Estudio De Pre Factibilidad Para La Creación De Una Empresa Productora Y Procesadora De Fibra De Cáñamo Industrial En La Provincia De Pichincha Para La Exportación Al Mercado Alemán En El Periodo 2019-2029. [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15967>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC). (18, noviembre de 2009). NTC:4205: 2000. Unidades De Mampostería De Arcilla Cocida. Ladrillos Y

- Bloques Cerámicos. <http://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-content/uploads/2017/02/NTC-4205-Unidades-de-mamposteria-de-arcilla-ladrillos-y-bloques-ceramicos.pdf>
- ISOHEMP natural building. (2022). *ISOHEMP natural building*. Obtenido de ISOHEMP natural building: <https://www.iso hemp.com/en/technical-documentation/ficha-tecnica10/seleccione-0#>
- Jiménez Correa, C. (2017). Perfil técnico ambiental ladrillos de cerámica en el marco de las compras sostenibles. [Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/3430>.
- Johnston, R. (Febrero de 2016). The environmental benefits of industrial hemp.
- Kaiser, C., Cassady, C., & Ernst, M. (Septiembre de 2015). Industrial Hemp Production. <https://www.uky.edu/ccd/sites/www.uky.edu/ccd/files/hempproduction.pdf>
- Ladrillería Santafé. (2022). *Productos de Ladrillería Santafé*. Obtenido de <https://www.santafe.com.co/productos/>
- Mechi, A., & Sanchez, L. (2010). AImpactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. https://www.researchgate.net/publication/250982731_Impactos_ambientais_da_mineracao_no_Estado_de_Sao_Paulo
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2021). Portafolio de mejores técnicas disponibles y mejores prácticas ambientales para el sector alfarero y de producción de ladrillo en Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/PORTAFOLIO-BUENAS-PRACTICAS-SECTOR-LADRILLO.pdf>
- NovArcillas. (2022). *Ladrillo común reconocido*. <https://novarcillas.com/ladrillo-comun-recocido/>
- Núñez Sacaluga, C. (2015). *Ecodiseño: Manzana de Discordia*. San Juan: Alvi Books.
- Ospina Pedraza, O. A. (22 de Abril de 2019). Diseño de modelo de negocio verde a partir de la producción de ladrillos a base de cáñamo industrial. [Trabajo de grado, Universidad del Bosque]. Repositorio. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2617>
- Paez Claro, J. (2020). Tipos de contaminantes atmosféricos asociados a la fabricación de ladrillos artesanales en Colombia. [Trabajo de grado, UNAD]. Repositorio. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34072>

- Pharmacology University. (2021). *CAÑAMO: Beneficios ambientales de la planta de los 1000 usos*. Texas: Pharmacology University. <https://es.scribd.com/book/538750012/Canamo-Beneficios-ambientales-de-la-planta-de-los-mil-usos>
- Presidencia de la República de Colombia. (10 de Abril de 2017). Decreto 613 de 2017. Por el cual se reglamenta la Ley 1787 de 2016 y se subroga el Título 11 de la Parte 8 del Libro 2 del Decreto número 780 de 2016, en relación con el acceso seguro e informado al uso médico y científico del cannabis. Diario Oficial No. 50.202. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_0613_2017.htm
- Puentes Cassab, D. A. (Marzo de 2021). Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla como elemento constructivo proveniente de fábricas ubicadas en la zona norte del departamento del Valle del Cauca en Colombia. [Trabajo de grado, Corporación Universidad de la Costa]. Repositorio. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/8235>
- Ramos Quevedo, A. N. (2019). Plan de negocio para la fabricación y venta de ladrillos a base de cáñamo en la construcción de viviendas sostenibles en la ciudad de Bogotá. [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4833/00005068.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rios Tocua, J., & Martínez Segura, J. (2021). Estudio De Viabilidad Para Desarrollar Un Emprendimiento, Enfocado En La Creación De Una Empresa Productora De Ladrillos Ecológicos Hechos Con Fibra De Cáñamo En El Departamento Del Cauca. Santiago de Cali, [Trabajo de grado, Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium]. Repositorio. <https://repository.unicatolica.edu.co/handle/20.500.12237/2280>
- Rodríguez Quiroga, C. D. (2017). Análisis físico y mecánico del ladrillo macizo "Tolete Común" producido en los chircales aledaños la ciudad de Tunja. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/33706>
- Romo Aguilar, M. D., Córdova Bojórquez, G., & Cervera Gómez, L. E. (2004). Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez. *Estudios Fronterizos*, 5(9), 9-34. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53050901>

- Univio Lizcano, A. (2017). Diagnóstico Sobre La Incidencia De La Actividad Ladrillera En El Territorio, A Partir De Sus Impactos Ambientales, En Sogamoso-Colombia. [Trabajo de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio., <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/806>
- Williams, D., & Mundell, R. (2015). An Introduction to Industrial Hemp, Hemp Agronomy, and UK Agronomic Hemp. <http://www2.ca.uky.edu/agc/pubs/ID/ID250/ID250.pdf>