



# **Cannabis Sativa: estudio, pruebas y análisis para conocer su viabilidad como agregado en la fabricación de eco-ladrillos**

**Lizeth Vanessa Agredo Osorio**

Universidad de Pamplona Colombia  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Departamento de Arquitectura  
Pamplona, Colombia

2022

# **Cannabis Sativa: estudio, pruebas y análisis para conocer su viabilidad como agregado en la fabricación de eco-ladrillos**

**Lizeth Vanessa Agredo Osorio**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para obtener el

título de:

**Arquitecta**

Director (a):

Especialista en pedagogía universitaria,  
Arquitecto, Docente. Juan Carlos Diez Ortega

Línea de Investigación:

Tecnología de construcción sostenible

Universidad de Pamplona Colombia  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Departamento de Arquitectura  
Pamplona, Colombia

2022

*(Dedicatoria o lema)*

*Sé firme en tus actitudes y perseverante en tu ideal. Pero sé paciente, no pretendiendo que todo te llegue de inmediato, haz tiempo para todo, y todo lo que es tuyo, vendrá a tus manos en el momento oportuno.*

*M. Gandhi*

## **Agradecimientos**

Esta sería una lista infinita si menciono a cada una de las personas que además de creer en mí, aportaron para mi carrera y para este trabajo, un grano de arena gigante con el cual pude ir construyendo el camino hacia la meta de uno de mis sueños, recibir el título de arquitecta.

Primero doy gracias a Dios por la sabiduría, la paciencia y la fuerza que me dio para realizar este proyecto y no rendirme aun cuando el camino se volviera difícil, a mi madre por darme una palabra de aliento cuando quería desistir y a mi compañero de vida, sin el cual este proceso habría sido más difícil.

A mi asesor el arquitecto Juan Díez Ortega, por su paciencia y apoyo en todo el proceso, al profesor William Mora al cuál conocí en la etapa final de este proceso pero que con su ayuda pude completar una fase de este proyecto.

A la universidad de Pamplona, por permitirme los espacios para el desarrollo del proyecto y al personal del laboratorio de materiales, los cuales me permitieron los espacios y la asesoría para concretar mi investigación.

Y en general a muchas personas que fui conociendo en el camino y que en cada escalón me daban una mano para ayudarme a llegar a la meta.

## Resumen

Esta investigación tiene como propósito analizar, fabricar y comprobar mediante pruebas mecánicas, si el uso de las fibras de cannabis Sativa en la construcción provee beneficios para las futuras construcciones, teniendo en cuenta los estándares mínimos de calidad establecidos en la NTC 4205. Además de los beneficios que le proporciona al medio ambiente.

Para esto, se fabrican 12 eco-ladrillos con la mezcla cal (37%) y agua (63%), a la cual se le adiciona cannabis en tres proporciones diferentes, 18%, 22% y 28%, y en tres tamaños de partículas caracterizadas en un proceso de tamizaje, medio (1,785 mm), medio-fino (0,8925 mm) y fino (0,446 mm), para evaluar el efecto que tiene la relación material base/porcentaje de cannabis y el tamaño de las partículas agregadas sobre la resistencia a la compresión con el objetivo de determinar si el biocompuesto construido con partículas de cannabis y cal se puede usar como alternativa al ladrillo de arcilla cocida para la construcción de módulos de mampostería estructural o no estructural, con el fin de disminuir la producción de ladrillos debido al alto consumo energético que tiene este proceso, además de los altos porcentajes de contaminación que genera en el aire, suelo y agua.

Los resultados obtenidos muestran que tanto la relación material base/porcentaje de cannabis y como el tamaño de las partículas agregadas si tienen influencia sobre las propiedades del biocompuesto. En el resultado de la prueba de compresión, el resultado no es tan favorable ya que solo una muestra parece tener la resistencia mínima para ser considerada como una unidad de mampostería no estructural También se realiza una prueba (artesanal) de temperatura para determinar si el material posee la propiedad de aislamiento térmico, lo cual da un resultado altamente positivo.

**Palabras clave: (Cannabis Sativa, resistencia a la compresión, biocompuesto, alternativa constructiva).**

## Abstract

The purpose of this research is to analyze, manufacture and verify through mechanical test if the use of Hemp (cannabis sativa) for construction presents any advantage or benefit compared with the traditional methods under the quality standards established in NTC 4205.

For this purpose, we'll manufactured 12 eco-bricks with a mixture of lime (37%) and water (63%), to which adds hemp fibers in three different proportions, 18%, 22% and 28%, and in three sizes of particles characterized in a screening process, medium (1,785 mm), medium-fine (0.8925 mm) and fine (0.446 mm), to assess the effect of material ratio hemp base/percentage and aggregate particle size over strength to compression in order to determine if the biocomposite built with particles of hemp and lime can be used as an alternative to fired clay brick for construction of structural or non-structural masonry modules, in order to reduce the production of bricks due to the high energy consumption of this process, in addition to the high percentages of pollution it generates in the air, soil and water.

The obtained results show that both the base material base/percentage of hemp and the size of the aggregate particles if they have an influence on the biocomposite properties. In the compression test result, the result is not so favorable since only one sample seems to have the minimum resistance to be considered as a non-structural masonry unit (craft) temperature test to determine if the material possesses the property of thermal insulation, which gives a highly positive result.

**Keywords: (Cannabis Sativa, hemp, compressive strength, biocomposite, constructive alternative).**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de gráficos</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Marco teórico conceptual</b> .....	<b>3</b>
1.1 Presentación de la problemática .....	4
1.2 Teorías.....	5
1.2.1 Impacto ambiental de las ladrilleras en Colombia .....	6
1.2.2 Construcción sostenible.....	9
1.2.3 Material constructivo a partir de la fibra de cannabis: HempCrete .....	12
1.2.4 Requisitos para la elaboración de ladrillos de mampostería .....	14
1.2.5 Propuesta de eco-ladrillos a base de cannabis sativa como alternativa al ladrillo convencional .....	16
1.3 Teorías complementarias .....	18
1.3.1 Cadena productiva del cannabis medicinal en Colombia .....	18
1.3.2 Construcción convencional y sus altos costos ambientales .....	20
1.4 Conceptos .....	22
1.4.1 Contaminación ambiental .....	22
1.4.2 Medio ambiente .....	23
1.4.3 Construcción sostenible.....	24
1.4.4 Bioconstrucción .....	24
1.4.5 Resistencia a la compresión .....	25
1.4.6 Propiedades térmicas .....	26
1.4.7 Ladrillos ecológicos .....	28
1.5 Tendencias.....	29
1.5.1 Hempcrete: Ladrillo y bloques de cannabis Sativa.....	29
1.5.2 Trabajos similares.....	31
1.6 Marco normativo .....	33
1.6.1 Nivel fundamental: Constitución nacional y tratados internacionales .....	34
1.6.2 Nivel legal: Leyes nacionales, locales, tratados y decretos ley .....	36
1.6.3 Nivel base: Sentencias, normas, contratos, testamentos .....	37
1.7 Síntesis .....	38
<b>2. Marco contextual</b> .....	<b>41</b>

2.1	Cultivos de cannabis Sativa .....	42
2.1.1	¿Qué es el cannabis Sativa? .....	42
2.1.2	Condiciones ambientales para el cultivo de cannabis .....	43
2.1.3	Ventajas ecológicas de los cultivos de cannabis .....	44
2.2	Análisis macro – Colombia .....	45
2.2.1	Factores ambientales .....	45
2.2.2	Cultivo de cannabis .....	46
2.2.3	Problemas ambientales .....	48
2.3	Análisis meso – Norte de Santander .....	50
2.3.1	Factores ambientales .....	50
2.3.2	Cultivo de cannabis Sativa .....	50
2.4	Análisis micro – Bochalema .....	52
2.4.1	Factores ambientales .....	52
2.4.2	Cultivo de cannabis .....	52
2.4.3	Empresa de cultivos de cannabis en Bochalema .....	55
2.5	Cultivo de cannabis en Colombia como un gran potencial económico y social ..	56
2.6	Síntesis .....	58
2.6.1	Cultivo de cannabis Sativa en Colombia (DOFA) .....	61
<b>3.</b>	<b>Marco proyectual .....</b>	<b>63</b>
3.1	<b>Características del cultivo de cannabis Sativa .....</b>	<b>64</b>
3.1.1	<b>Requisitos del sitio .....</b>	<b>64</b>
3.1.2	<b>Elementos del cultivo .....</b>	<b>66</b>
3.1.3	<b>Etapas de cultivo .....</b>	<b>66</b>
3.1.4	<b>Implementos usados en los cultivos .....</b>	<b>74</b>
3.1.5	<b>Extracción de la materia prima para la fabricación de eco-ladrillos .....</b>	<b>76</b>
3.1.6	Estudio de costos de un cultivo de cannabis para obtención de flor de 1000 m2 ubicado en Bochalema Norte de Santander .....	77
3.2	<b>Proceso para la elaboración de muestras de eco-ladrillos .....</b>	<b>79</b>
3.2.1	<b>Obtención de la materia prima .....</b>	<b>79</b>
3.2.2	<b>Preparación de la materia prima .....</b>	<b>83</b>
3.2.3	Materiales utilizados en la elaboración de la mezcla .....	92
3.2.4	<b>Elaboración de las dosificaciones y el material base .....</b>	<b>93</b>
3.2.5	Fabricación de los moldes .....	99
3.2.6	Fabricación de las muestras (eco-ladrillos) .....	100
3.3	Pruebas realizadas .....	109
3.3.1	Resistencia a la compresión .....	109
3.3.2	Aislamiento térmico .....	112
3.4	Resultados .....	114
3.4.1	Resistencia a la compresión .....	114
3.4.2	Comparación de resultados – Ensayo de resistencia a la compresión .....	125
3.4.3	Aislamiento térmico .....	131
3.5	Síntesis .....	135
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>138</b>
4.1	Conclusiones .....	138
4.1.1	Conclusiones objetivo general .....	138
4.1.2	Conclusiones objetivo específico 1 .....	139
4.1.3	Conclusiones objetivo específico 2 .....	140
4.1.4	Conclusiones objetivo específico 3 .....	140

---

4.2	Recomendaciones.....	140
<b>A.</b>	<b>Anexo: Propuesta de grado.....</b>	<b>143</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Procesos de pruebas de compresión y temperatura.....</b>	<b>142</b>
	Bibliografía .....	145

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1- 1:</b> Muro construido con bloques de Hempcrete. ....	14
<b>Figura 1- 2:</b> Propiedades del Hempcrete. ....	29
<b>Figura 2- 1:</b> Características de las plantas de cannabis: cáñamo (Savita) y marihuana (Savita, Indica). ....	42
<b>Figura 2- 2:</b> Comparación entre las variedades Savita e Indica. ....	43
<b>Figura 2- 3:</b> Mapa de localización de cultivos de cannabis existentes en Colombia... ..	46
<b>Figura 2- 4:</b> Cultivos de cannabis presentes en el departamento Norte de Santander... ..	51
<b>Figura 2- 5:</b> División política de Bochalema, localización de la vereda Peña Viva. ....	53
<b>Figura 2- 6:</b> Localización de la finca el Espejo en Bochalema Norte de Santander....	54
<b>Figura 2- 7:</b> Planta de producción de la empresa .....	55
<b>Figura 2- 8:</b> Cultivos de cannabis medicinal .....	55
<b>Figura 3-1:</b> Disposición de la plantación .....	69
<b>Figura 3-2:</b> Densidad de la siembra según el producto que se quiere obtener .....	71
<b>Figura 3-3:</b> Semillas de cannabis .....	72
<b>Figura 3- 4:</b> Esquejes listos para la siembra .....	81
<b>Figura 3- 5:</b> Plantas sembradas.....	81
<b>Figura 3- 6:</b> Plantas listas para cosechar.....	81
<b>Figura 3- 7:</b> Plantas cosechadas .....	82
<b>Figura 3- 8:</b> Tallos después de la extracción de flores y hojas.....	82
<b>Figura 3- 9:</b> Tallos y ramas secos y listos para triturar .....	83
<b>Figura 3- 10:</b> Primer intento: triturado de la materia prima con una cortadora de pasto artesanal .....	85
<b>Figura 3- 11:</b> Tamaño obtenido con la cortadora de pasto.....	85
<b>Figura 3- 12:</b> Corte y molienda del material de forma manual .....	86
<b>Figura 3- 13:</b> Triturado del material con la máquina trituradora de plástico ubicada en la universidad de Pamplona.....	87
<b>Figura 3- 14:</b> Material obtenido de la trituradora de plástico .....	88
<b>Figura 3- 15:</b> Tamices utilizados para la caracterización por tamaños de la materia prima .....	88

<b>Figura 3- 16:</b>	Proceso de tamizado manual .....	89
<b>Figura 3- 17:</b>	Material tamizado en tamiz número 8 tamaño 2,38 mm.....	91
<b>Figura 3- 18:</b>	Materiales usados en la elaboración de las muestras .....	93
<b>Figura 3- 19:</b>	Muestras fabricadas inicialmente.....	96
<b>Figura 3- 20:</b>	Material base (Cal y agua).....	98
<b>Figura 3- 21:</b>	Moldes de madera .....	99
<b>Figura 3- 22:</b>	Medida de los especímenes .....	99
<b>Figura 3- 23:</b>	Implementos utilizados en la fabricación de las muestras.....	104
<b>Figura 3- 24:</b>	Elaboración de las muestras.....	107
<b>Figura 3- 25:</b>	Muestras vertidas en los moldes.....	107
<b>Figura 3- 26:</b>	Almacenamiento de las muestras .....	107
<b>Figura 3- 27:</b>	Muestra después de los 32 días de secado.....	108
<b>Figura 3- 28:</b>	Máquina Universal Chimadzu UH-600kNI.....	109
<b>Figura 3- 29:</b>	Unidad de procesamiento .....	110
<b>Figura 3- 30:</b>	Computador con el software utilizado para la prueba .....	110
<b>Figura 3- 31:</b>	Muestras ubicadas en la máquina Universal.....	111
<b>Figura 3- 32:</b>	Muestras listas para la prueba de temperatura .....	112
<b>Figura 3- 33:</b>	Sistema utilizado para realizar la prueba de temperatura .....	112
<b>Figura 3- 34:</b>	Formula indicada en la NTC 4017 para calcular la resistencia a la compresión .....	114
<b>Figura 3- 35:</b>	Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión .....	116
<b>Figura 3- 36:</b>	Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión .....	117
<b>Figura 3- 37:</b>	Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión .....	119
<b>Figura 3- 38:</b>	Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión .....	121
<b>Figura 3- 39:</b>	Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión .....	122
<b>Figura 3- 40:</b>	Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión .....	124

## Lista de gráficos

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfico 1- 1:</b> Mentefacto. ....	5
<b>Gráfico 1- 2:</b> Proceso de un material de construcción. ....	11
<b>Gráfico 1- 3:</b> Requisitos para la elaboración de ladrillos de mampostería. ....	15
<b>Gráfico 1- 4:</b> Propiedades del cannabis como material constructivo. ....	18
<b>Gráfico 1- 5:</b> Costos ambientales derivados de la construcción convencional. ....	20
<b>Gráfico 1- 6:</b> Identificación de conceptos. ....	22
<b>Gráfico 1- 7:</b> Pirámide de Kelsen - Jerarquía normativa. ....	34
<b>Gráfico 2- 1:</b> Lista de los departamentos con presencia de cultivos de cannabis en Colombia. ....	46
<b>Gráfico 2- 2:</b> Matriz DOFA sobre el cultivo y uso del cannabis Sativa en Colombia. ...	61
<b>Gráfico 3- 1:</b> Características del cultivo de cannabis sativa. ....	64
<b>Gráfico 3- 2:</b> Cronograma de un cultivo de cannabis sembrado para la obtención de fibra en un área de 1000 m2. ....	67
<b>Gráfico 3- 3:</b> Cronograma de un cultivo de cannabis sembrado para la obtención de flor en un área de 1000 m2. ....	68
<b>Gráfico 3- 4:</b> Implementos agrícolas utilizados en el cultivo de cannabis Sativa. ....	74
<b>Gráfico 3- 5:</b> Costos de un cultivo de 1000 m2 de cannabis (obtención de flor) ....	78
<b>Gráfico 3- 6:</b> Proceso para la elaboración de las muestras de eco-ladrillos. ....	79
<b>Gráfico 3- 7:</b> Diagrama de flujo del proceso de obtención de la materia prima. ....	80
<b>Gráfico 3- 8:</b> Diagrama de flujo del proceso de preparación de la materia prima. ....	83
<b>Gráfico 3- 9:</b> Diagrama de flujo del proceso de fabricación de las muestras. ....	100
<b>Gráfico 3- 10:</b> Porcentajes de cannabis a agregar al material base. ....	102
<b>Gráfico 3- 11:</b> Matriz de muestras. ....	102
<b>Gráfico 3- 12:</b> Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado. ....	115
<b>Gráfico 3- 13:</b> Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado. ....	117
<b>Gráfico 3- 14:</b> Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado. ....	118
<b>Gráfico 3- 15:</b> Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado. ....	120
<b>Gráfico 3- 16:</b> Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado. ....	122
<b>Gráfico 3- 17:</b> Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado. ....	123
<b>Gráfico 3- 18:</b> Resistencia a la compresión de las 6 muestras. ....	126

---

<b>Gráfico 3- 19:</b>	Porcentaje de deformación por el esfuerzo máximo soportado .....	128
<b>Gráfico 3- 20:</b>	Relación tamaño de partícula y porcentaje de cannabis agregado ...	129
<b>Gráfico 3- 21:</b>	Resistencia según el porcentaje de cannabis agregado.....	129
<b>Gráfico 3- 22:</b>	Resistencia según el tamaño de partícula de cannabis agregado ....	130
<b>Gráfico 3- 23:</b>	Procedimiento para pruebas de temperaturas.....	132

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1- 1:</b> Industria ladrillera en Colombia.....	7
<b>Tabla 1- 2:</b> Contaminación causada por los procesos de fabricación del ladrillo de arcilla .....	8
<b>Tabla 1- 3:</b> Resistencia mínima a la compresión según la unidad de mampostería .....	26
<b>Tabla 1- 4:</b> Estado del arte.....	31
<b>Tabla 1- 4:</b> (Continuación) .....	33
<b>Tabla 2- 1:</b> Potencial en la generación de empleos por la industria de cannabis en Colombia. ....	58
<b>Tabla 3- 1:</b> Medidas de los tamices .....	90
<b>Tabla 3- 2:</b> caracterización por tamaños de las partículas de cannabis .....	91
<b>Tabla 3- 3:</b> Variaciones cáñamo-cal y tamaños de partículas producidas. ....	94
<b>Tabla 3- 4:</b> Dosificaciones producidas para la primera y segunda muestra inicial de este proyecto .....	95
<b>Tabla 3- 5:</b> Dosificación producida para la tercera muestra inicial de este proyecto.....	96
<b>Tabla 3- 6:</b> Tabla de datos de las muestras iniciales.....	97
<b>Tabla 3- 7:</b> Dosificaciones en gramos de la mezcla cannabis, cal y agua .....	104
<b>Tabla 3- 8:</b> Dosificaciones en porcentaje de la mezcla cannabis, cal y agua .....	105
<b>Tabla 3- 9:</b> Muestras fabricadas.....	106
<b>Tabla 3- 10:</b> Resultados de la muestra número 1 .....	114
<b>Tabla 3- 11:</b> Resultados de la muestra número 2.....	116
<b>Tabla 3- 12:</b> Resultados de la muestra número 3.....	118
<b>Tabla 3- 13:</b> Resultados de la muestra número 4.....	119
<b>Tabla 3- 14:</b> Resultados de la muestra número 5.....	121
<b>Tabla 3- 15:</b> Resultados de la muestra número 5.....	123
<b>Tabla 3- 16:</b> Clasificación de las unidades de mampostería según su densidad .....	125
<b>Tabla 3- 17:</b> Densidad de las muestras .....	125
<b>Tabla 3- 18:</b> Compilación de resultados del ensayo de resistencia a la compresión. ....	126
<b>Tabla 3- 19:</b> Resistencia mínima para unidades de mampostería estructural y no estructural .....	127

---

<b>Tabla 3- 20:</b>	Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 1 .....	132
<b>Tabla 3- 21:</b>	Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 2 .....	132
<b>Tabla 3- 22:</b>	Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 3 .....	133
<b>Tabla 3- 23:</b>	Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 4 .....	133
<b>Tabla 3- 24:</b>	Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 5 .....	133

# Introducción

En el presente trabajo se realiza una investigación sobre la viabilidad de implementar el cannabis Sativa como materia prima para la elaboración de un material constructivo como alternativa a los materiales convencionales.

Para esto se realiza una exploración sobre la contaminación ambiental derivada de las diferentes actividades constructivas llevadas a cabo por el hombre, también se investigan las diferentes alternativas que se pueden desarrollar para evitarla y/o disminuirla, partiendo desde la identificación de los problemas ambientales que genera la industria de la construcción en Colombia, y abordando la construcción sostenible como una posible solución y una nueva forma de construir dejando las alternativas convencionales en el pasado. Seguido de un estudio sobre el material a emplear (cannabis Sativa) para crear muestras que permitan analizar mediante pruebas de laboratorio su viabilidad y determinar si cumple con los estándares de calidad y resistencia existentes en el país para el sector de la construcción.

Cabe destacar que esta investigación se hace con el fin de analizar una alternativa que permita a los trabajadores del sector de la construcción tener más opciones al momento de realizar una obra, donde puedan conocer los pros y contras de cada material a usar y determinen cual generaría más ventajas a la construcción y al ambiente. Esta alternativa es un material elaborado a partir de las fibras de cannabis obtenidas en los tallos y ramas de la planta.

Se debe agregar que, en Colombia, el sector de la construcción es un punto fundamental para la actividad económica del país, por lo que la hace indispensable para la sociedad ya que impulsa el desarrollo y permite la construcción de edificaciones e infraestructuras necesarias para el mejoramiento de la cultura y el progreso económico y social del país. Aunque es importante señalar que además de ser un punto clave para el crecimiento de una sociedad, la construcción también es uno de los principales focos de contaminación

en el mundo, dado que en la realización de sus actividades se producen impactos ambientales que deterioran el ambiente y perjudican la sociedad.

Es por esto, que es de gran importancia realizar investigaciones que estudien el impacto de la contaminación generada por el sector de la construcción y nuevos materiales, con el propósito de generar nuevas alternativas constructivas que mejoren el ambiente y la sociedad.

Este trabajo está compuesto por tres capítulos que analizan y describen paso a paso el proyecto. En el capítulo I, inicia describiendo las teorías y conceptos que ubican la presente investigación en un tema específico, las tendencias que demuestran su viabilidad y los lugares donde se ha abordado este tema, también se abordan las normas que lo regulan y lo encaminan a ser un proyecto factible en el lugar donde se desarrolla; seguido por el capítulo II, el cual se compone de un análisis contextual a una escala micro, meso y macro, que permite el conocimiento del lugar donde se lleva a cabo la propuesta; por último, se elabora el capítulo III, que describe el proceso llevado a cabo para el desarrollo del proyecto, dando como resultado la si o la no viabilidad de la propuesta, mediante análisis y pruebas realizadas en el proceso y resultados obtenidos al final. Finalmente, y con la información obtenida en el capítulo III, se abordan las conclusiones del proyecto, las cuales describen los resultados obtenidos en el capítulo III.

Otro aspecto importante en este trabajo es el método o enfoque utilizado para llevarlo a cabo, entonces, esta investigación es de tipo cuasi experimental, ya que se enfoca en analizar un tema que ya ha sido estudiado con anterioridad, con el fin de elaborar, probar y analizar un producto con base en proyectos similares haciendo algunos cambios para obtener un mejor resultado.

Sumado a lo anterior, la investigación también tendrá un enfoque complementario que aplica el enfoque cualitativo y lo complementa con el enfoque cuantitativo en menor grado. Se propone este enfoque debido a que, en el presente proyecto se plantea estudiar y analizar un tema mediante la observación y la investigación, para posteriormente describirlo y complementarlo con resultados y análisis a partir de pruebas de laboratorio.

# 1. Marco teórico conceptual

El concepto de sostenibilidad se está volviendo cada vez más importante en el trabajo de los arquitectos y urbanistas modernos, ingenieros y tecnólogos que trabajan en diversas áreas de actividades de diseño y construcción, así como en la creación de nuevos materiales y tecnologías de la construcción. Cada año, crece el número de proyectos y edificios que se denominan “verdes” sostenibles, eco sostenibles, respetuosos con el medio ambiente y energéticamente eficientes.

La adopción por parte de la comunidad mundial del concepto de desarrollo sostenible finalizará el llamado de la humanidad a la búsqueda de oportunidades para implementar sus principios en diversos campos de esta actividad. En este sentido es necesario realizar un andamiaje teórico en relación a los fundamentos bibliográficos que sustenta la presente investigación, los cuales se develan a lo largo del desarrollo del presente capítulo.

Así mismo resulta significativo resaltar que en este capítulo se identifican las teorías que aterrizan la investigación y permiten un mejor desarrollo por parte del autor y una mejor claridad para el lector. Enfocando cada teoría hacia los conceptos que se abarcan en este trabajo. Se definen los conceptos relacionados con el enfoque del proyecto y se hace una descripción de los proyectos que han sido llevados a cabo en otros lugares y tienen afinidad con el uso del cannabis Sativa en la construcción para lograr la construcción sostenible y la disminución de focos de contaminación. También se identifican y se describen las normas que guían el proyecto y demuestran si este planteamiento es factible. Finalmente se consolida la información de este capítulo y se llega a una breve conclusión sobre las teorías, conceptos y normas abordadas aquí.

## 1.1 Presentación de la problemática

El rápido desarrollo urbano de las ciudades y la migración, son generadoras de gran crecimiento para la industria de la construcción, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2018), la construcción en Colombia es una de las mayores fuentes proveedoras de empleo y una de las industrias que muestra más crecimiento en los últimos años. Debido a esto, la industria ladrillera del país ha demostrado un acelerado desarrollo, ya que su producto principal (ladrillo convencional de arcilla) es uno de los insumos más importantes para la construcción en el país.

En un análisis de la producción mensual regional de la industria ladrillera en Colombia, realizado por la corporación ambiental empresarial - CAEM, 2015, se logró conocer que para ese año en Colombia se produjeron 1.058.656 toneladas de ladrillos por mes, con 1508 ladrilleras caracterizadas y 2435 hornos existentes en 15 departamentos del país. En este análisis se pudo identificar al departamento Norte de Santander como uno de los que encabeza la lista en mayor cantidad de producción de ladrillos y hornos existentes. Vale la pena aclarar que, además de permitir y apoyar el desarrollo de una ciudad, la industria ladrillera también produce contaminación del aire (emisión de material particulado, vibraciones, ruidos, emisión de gases), del agua (vertimientos), del suelo (residuos) y un alto consumo energético.

Debido a lo mencionado anteriormente, se ve la necesidad de buscar y/o desarrollar nuevas alternativas que permitan seguir con el desarrollo de ciudades sin comprometer la seguridad en las construcciones ni la vitalidad del entorno.

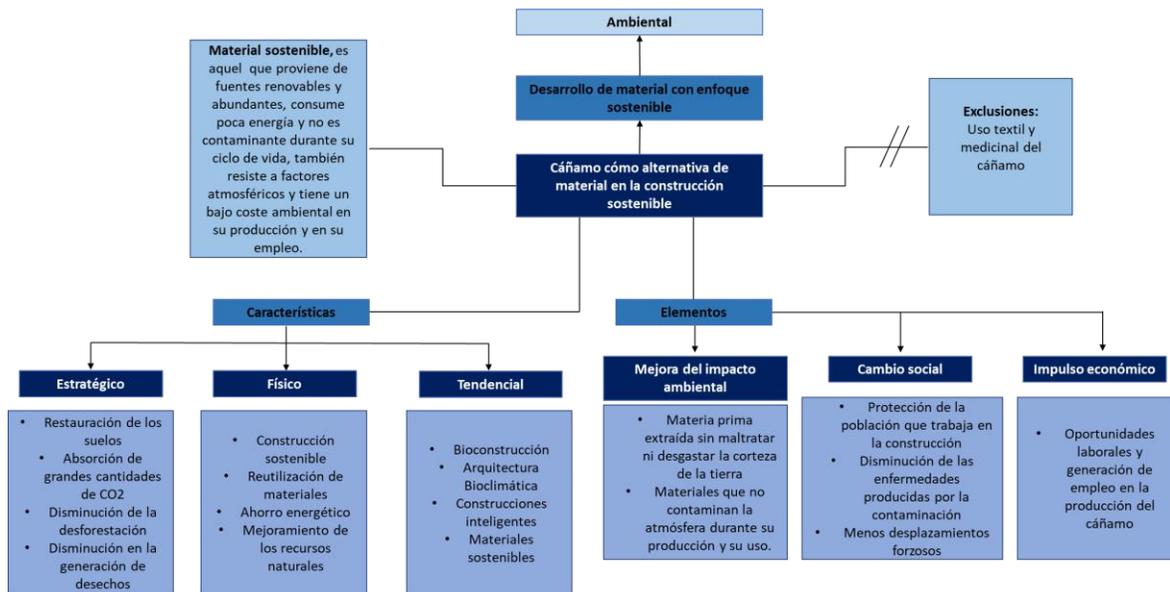
Existe una planta muy antigua pero poco estudiada actualmente debido a su historia de narcotráfico e inseguridad en el país, pero de la cual se puede extraer materia prima para la elaboración de un sinnúmero de productos de alta calidad, esta planta es conocida como cannabis medicinal y ofrece una materia prima con muchas propiedades positivas tanto para el ambiente como para los productos que se derivan de ella.

Las empresas cultivadoras de cannabis en el país, solo la cultivan con el fin de extraer y comercializar la flor y desechan un gran porcentaje de la planta, desconocen la variedad de productos que se pueden elaborar con las hojas, la fibra de los tallos y ramas y con las semillas. Entre los productos derivados de la fibra y la cañamiza de los tallos y ramas de

cannabis se encuentran materiales para uso constructivo, por esto, en este proyecto se estudia la posibilidad de crear un eco-ladrillo que permita la elaboración de módulos de mampostería que cumplan con las normas establecidas en el país para este tipo de materiales y que además disminuya la contaminación existente en Colombia derivada por la industria constructiva.

## 1.2 Teorías

Gráfico 1- 1: Mentefacto.



Fuente: Elaboración propia

La frase que suena paradójica "arquitectura sostenible" (hasta que la humanidad conoció la arquitectura "no sostenible") es más una guía para el proceso de diseño que la arquitectura en sí mismo, no su posible nombre temporal o estilístico. Esto no es una tendencia o dirección en arquitectura, sino un vector de desarrollo, un sistema de principios, un paradigma de diseño. Siguiendo una estrategia de desarrollo, la arquitectura sostenible está diseñada para satisfacer las necesidades de las personas vivas con un alto nivel de calidad, sin privar a las generaciones futuras de las mismas oportunidades. El futuro es imposible sin tener en cuenta los numerosos desarrollos científicos y de diseño ya existentes: el "pasado" de la arquitectura sostenible, la historia de toda la arquitectura, teniendo en cuenta la experiencia de la arquitectura popular tradicional.

De excepcional importancia crear para el desarrollo de la arquitectura es el análisis de los procesos globales en curso y la búsqueda de nuevos conceptos para un entorno espacial desde el punto de vista de la sustentación de los valores humanos universales. Es la forma de pensar de un arquitecto, urbanista o constructor que es un componente importante en la formación del futuro entorno arquitectónico y espacial. En este sentido a continuación se relacionan las categorías teóricas que fundamental el trabajo investigativo.

### **1.2.1 Impacto ambiental de las ladrilleras en Colombia**

El rápido desarrollo urbano de las ciudades y la migración, son generadoras de gran crecimiento para la industria de la construcción, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2018), la construcción en Colombia es una de las mayores fuentes proveedoras de empleo y una de las industrias que muestra más crecimiento en los últimos años. Debido a esto, la industria ladrillera del país ha demostrado un acelerado desarrollo, ya que su producto principal (ladrillo convencional de arcilla) es uno de los insumos más importantes para la construcción en el país.

En un análisis de la producción mensual regional de la industria ladrillera en Colombia, realizado por la corporación ambiental empresarial (CAEM, 2015), se logró conocer que para ese año en Colombia se produjeron 1.058.656 toneladas de ladrillos por mes, con 1508 ladrilleras caracterizadas y 2435 hornos existentes en 15 departamentos del país. En este análisis se pudo identificar al departamento Norte de Santander como uno de los que encabeza la lista en mayor cantidad de producción de ladrillos y hornos existentes. (Tabla 1-1).

Vale la pena aclarar que, además de permitir y apoyar el desarrollo de una ciudad, la industria ladrillera también produce contaminación del aire (emisión de material particulado, vibraciones, ruidos, emisión de gases), del agua (vertimientos), del suelo (residuos) y un alto consumo energético (Gareca et.al, 2020).

El ladrillo convencional en Colombia, es un producto que podría catalogarse como indispensable para la construcción en el país, sea por su fácil empleo, su bajo precio o por ser el producto más conocido al momento de construir. Por este motivo, las empresas ladrilleras han aumentado considerablemente en el país para satisfacer la demanda del producto, y aunque son generadoras de empleo y cubren la demanda para construir en el

país, estas empresas también son generadoras de fuentes contaminantes derivadas del proceso de producción del ladrillo (Gareca et. al, 2020).

**Tabla 1- 1:** Industria ladrillera en Colombia

Departamento	producción (t/mes)	Número de ladrilleras caractrizadas	Número de hornos
Bogotá D.C y Cundinamarca	271.956	262	450
Norte de Santander	147.350	87	328
Antioquia	157.693	101	43
Valle del Cauca	107.903	257	282
Huila	76.232	102	195
Boyacá	40.222	418	441
Cesar	46.706	14	196
Atlántico	30.660	6	11
Santander	16.063	16	15
Caldas	12.407	8	11
Nariño región pasto	17.007	115	149
La Guajira	8.520	64	245
Cauca	114.602	45	53
Tolima	5.946	11	14
Sucre	5.390	2	2
Total	1.058.656	1.508	2.435

Fuente: Corporación Ambiental Empresarial – CAEM, 2015.

En una información registrada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Miniambiente, 2021), se puede identificar los impactos que se derivan debido a la fabricación del ladrillo de arcilla:

- Sobre el aire: incremento en los niveles de ruido y vibraciones, emisión de material particulado, emisiones gaseosas (óxidos de nitrógenos, óxidos de azufre, monóxido de carbono, dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, metales pesados, cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno)
- Sobre el agua: la explotación de la arcilla genera vertimientos de agua
- Sobre el suelo: el proceso de fabricación genera residuos sólidos
- Consumo energético: todos los sectores de la industria ladrillera tienen un alto consumo de energía, debido a que el secado y la cocción del ladrillo requieren altas temperaturas que oscilan entre 800 y 2000 °C. (Cortes, et.al, 2018).

Todo esto se puede ver ilustrado en la Tabla 1-2.

**Tabla 1- 2:** Contaminación causada por los procesos de fabricación del ladrillo de arcilla

Proceso	Causa	Efecto
Preparación del terreno y extracción de la arcilla	*Excavaciones que afectan el paisaje y la estructura y configuración del terreno *Liberación de CO2 por el uso de maquinarias *Ruidos y vibraciones *Vertimientos de agua	*Deforestaciones *Erosión *Daños en la capa productiva del suelo *Contaminación del aire y del agua
Oxidación o maduración de la arcilla	*Formación de material particulado *Almacenamiento y transporte de la materia prima genera emisiones de gases contaminantes	*Contaminación atmosférica *Aumento en enfermedades cardiovasculares y respiratorias
Triturado, molienda y tamizado	*Incremento en los niveles de ruidos y vibraciones que provienen de los equipos utilizados para el triturado o molienda de la materia prima *Formación de material particulado	*Contaminación del aire
Mezcla	*Formación de material particulado	*Contaminación del aire
Moldeado y corte	*Formación de material particulado	*Contaminación del aire
secado / Cocción o quema	*Uso de hornos de cocción *Uso excesivo de energía y de combustibles *Emanación de gases contaminantes y material particulado	*Contaminación atmosférica *Consumo energético
Enfriamiento y descargue	*Uso de transportes	*Generación de ruidos y vibraciones

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de internet

Como se puede observar en la información registrada por el Ministerio de ambiente y desarrollo (Miniambiente, 2021). Las ladrilleras afectan la matriz del aire, del suelo y del agua, debido a la cantidad de gases contaminantes que liberan (procesos de cocción, extracción y transporte), la emisión de material particulado (procesos de extracción de la arcilla, transporte y triturado o molienda), la generación de ruido y vibraciones (transporte), y lo vertimientos generados a partir de la transformación de la arcilla.

En vista de lo anterior, la industria ladrillera en cada proceso de fabricación de ladrillos genera distintas fuentes contaminantes, aunque el proceso de secado y cocción es el que más genera contaminación del aire, sumado a los contaminantes liberados, los cuales dañan el entorno y contaminan el agua y los suelos (Cortes et. al, 2018).

### **1.2.2 Construcción sostenible**

En este proyecto se plantea investigar y elaborar un material sostenible creado a partir de la fibra de los tallos y ramas del cannabis, y para esto, es importante conocer lo que se debe tener en cuenta para catalogar una construcción como sostenible y respetuosa con el medio ambiente, para ello, se analizan los trabajos de los siguientes autores, los cuales hablan sobre la sostenibilidad en las construcciones:

Biera (2017), en su tesis doctoral, menciona que la sostenibilidad tiene en cuenta los factores económicos, ecológicos y sociales que permiten un funcionamiento armónico, que la sostenibilidad es sinónimo de satisfacer necesidades de una generación actual si afectar las necesidades la una generación futura, generando progreso económico y social sin dañar los ecosistemas naturales ni la calidad del medio ambiente. Por consiguiente, define la construcción sostenible como aquella que, medioambientalmente hablando no consume rápida y excesivamente los recursos naturales, no crea focos de contaminación y no genera gran cantidad de residuos sólidos (desechos) por lo que la construcción sostenible tiene como fin la protección y reutilización de los recursos naturales, la utilización de recursos renovables y reciclables, la disminución del consumo de energía, la protección del medio ambiente, la creación de edificaciones con un ambiente saludable y no tóxico y la extracción de materias primas sin producir emisiones de gases de efecto invernadero ni residuos. (pp. 30-32).

Así mismo, Valero (2017), aborda en su tesis doctoral el tema de la construcción sostenible como una evolución que surgió en el pasado, pero que, con el paso de los años y con la industrialización se ha venido perdiendo pero actualmente se está recuperando este concepto a la hora de construir, él explica que anteriormente las construcciones con métodos tradicionales (construcción convencional) tenían en cuenta el clima, el lugar, el entorno y los materiales vernáculos, pero debido a la evolución de la sociedad y a la industrialización se crearon nuevos métodos constructivos que dieron como resultado el uso de materiales no responsables y dañinos con el medio ambiente. Él plantea que la arquitectura sostenible debe proponer una vuelta de la construcción con materiales propios del sector donde se vaya a construir y debe proponer una nueva visión para la forma de construir y de habitar. Afirma que la construcción sostenible tiene en cuenta cada efecto generado por una edificación en el ambiente en todo su proceso desde la construcción, la operación y la demolición; también es importante el aprovechamiento de los recursos naturales generando un impacto muy bajo teniendo en cuenta los procesos de extracción, fabricación y transporte de los materiales, las técnicas de construcción y la ubicación del proyecto. En resumen, él considera que para lograr la construcción sostenible se deben crear estrategias BIOCLIMÁTICAS responsables para el diseño constructivo. (pp. 266-268).

Biera (2017), autora anteriormente citada, resalta la importancia de la relación de los materiales con la construcción, ella afirma que es importante tener en cuenta el proceso que tiene un material desde su extracción, su fabricación, su transporte, su operación y el final de su vida útil. Si se tienen en cuenta estos aspectos al momento de construir, se podría considerar una construcción sostenible.

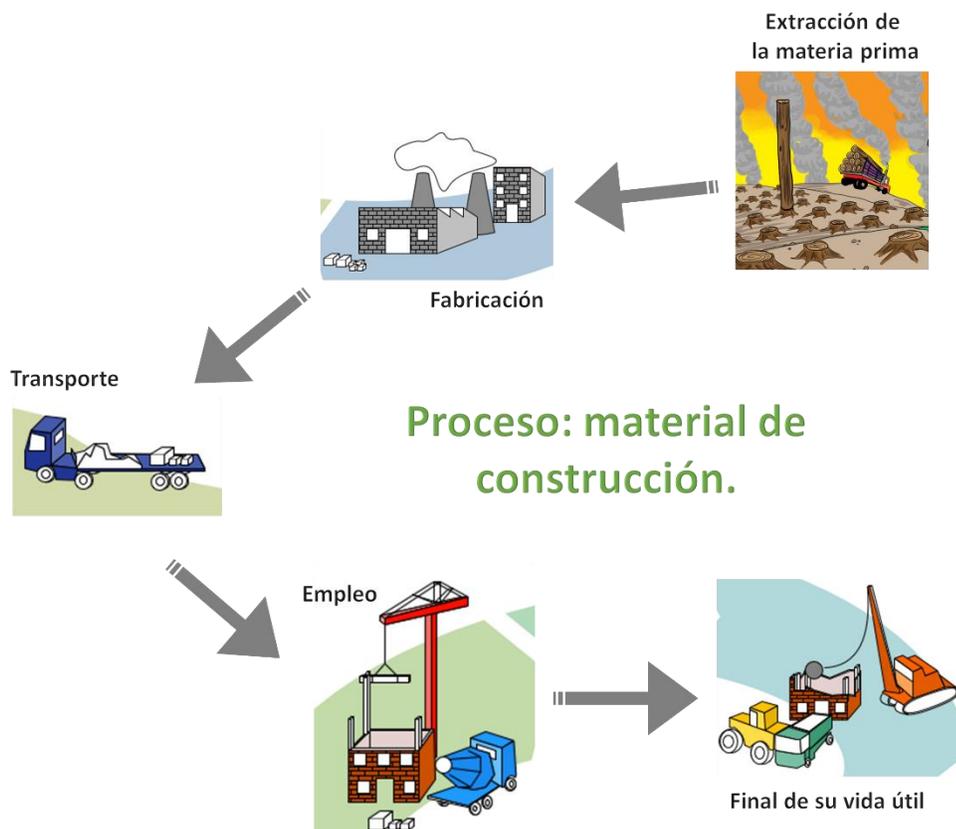
Para Valero (2017), autor citado anteriormente, el proceso de los materiales también son un punto clave al momento de pensar en construcciones sostenibles, aunque él también resalta la importancia que tuvo la construcción tradicional en sus inicios, como iniciativa para la construcción sostenible, pero esto se ha perdido con el tiempo y la evolución.

Según lo anterior, se puede determinar que un aspecto importante para lograr construcciones sostenibles es conocer el material con el que se va a construir, saber cuál es su impacto en el medio ambiente y conocer su proceso productivo, extracción de la

materia prima, fabricación del material, transporte, uso y final de la vida útil (Serrano et.al, 2017).

Por consiguiente, es necesario que las nuevas construcciones tengan un enfoque ambiental que logren la protección y mejoramiento del medio ambiente. Para esto, se debe dar importancia al material que será empleado en la construcción, conocer su proceso y determinar si el impacto del mismo es negativo o positivo para el medio ambiente (Bedoya, 2017). (Gráfico 1-2).

**Gráfico 1- 2:** Proceso de un material de construcción.



Fuente: Elaboración propia con imágenes obtenidas de internet

En otras palabras, es de vital importancia investigar y buscar nuevos materiales constructivos que permitan edificaciones sostenibles, materiales que en su proceso de (extracción, fabricación, transporte, uso y final de su vida útil) no generen efectos negativos al medio ambiente, no desgasten los recursos naturales, no produzcan gases tóxicos y posibiliten la reducción de la contaminación existente.

### **1.2.3 Material constructivo a partir de la fibra de cannabis: HempCrete**

Actualmente se evidencia la importancia de implementar nuevas alternativas en la construcción para lograr edificaciones sostenibles que protejan y disminuyan el deterioro del ambiente.

Carvajal Iván & Terreros Luís (2016) describen en su tesis titulada “Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo” que el cáñamo tiene un sinfín de usos debido a la cantidad de propiedades mecánicas, térmicas y acústicas que contiene, además de ser un material sostenible y responsable con el medio ambiente. También hacen un breve análisis de la contaminación derivada de la construcción y mencionan que “la industria de la construcción consume aprox. el 40% de energía mundial, usa un 40% de materias primas, además del considerable aporte a la emisión de CO<sub>2</sub> en el mundo aprox. el 57% de los cuales el 47% proviene del uso y mantenimiento de edificios y el otro 9% se produce por la fabricación de materiales”. Contrario a todo esto, el cannabis Sativa produce una fibra natural amigable con el medio ambiente, es conocida como la planta que más puede absorber CO<sub>2</sub> secuestrándolo aún después de ser procesada, crece rápidamente, regenera los suelos y no necesita herbicidas ni pesticidas para su óptimo desarrollo (P. 44).

Teniendo en cuenta las propiedades mencionadas en el párrafo anterior, se logra determinar que el Hempcrete puede ser considerado un material sostenible, que además de presentar cualidades que mejoran y protegen el medio ambiente también brinda la oportunidad de crear una nueva y diferente alternativa constructiva que puede impulsar el desarrollo económico y social de un territorio.

Así mismo, Biehl (2019), define el Hempcrete como un compuesto constructivo que presenta propiedades similares a la del ladrillo, pero con la diferencia de que en el Hempcrete las fibras leñosas del cannabis Sativa son mezcladas con un material a base de cal y agua. El Hempcrete puede ser moldeado para crear bloques o simplemente se deja húmedo y sin moldear para aplicar directamente como el concreto. Este material es útil para construir paredes aislantes, construir muros divisorios, puede ser mezclado con otros materiales para la elaboración de pisos y techos. El Hempcrete también puede

emplearse para construir muros de carga con un sistema que consiste en bloques de cannabis Sativa y ladrillo armado.

Biehl (2019), autora mencionada anteriormente, afirma que el Hempcrete provee diversos beneficios a nivel ambiental, comercial y estructural. Entre los beneficios estructurales indica que este material no es tan frágil como el ladrillo tradicional, lo que hace innecesario el uso de juntas de expansión para absorber la expansión y la contracción causadas por los cambios de temperatura, el Hempcrete también es un material muy ligero y fácil de trabajar, con una gran resistencia al fuego y a las plagas.

El Hempcrete es un material térmico y transpirable, ya que combate la humedad y logra un alto aislamiento. En cuanto a los beneficios ambientales la autora menciona que el Hempcrete es un material con carbono negativo debido a la gran capacidad que tiene el cultivo de cannabis Sativa de absorber CO<sub>2</sub> y permite ahorros considerables de energía debido a sus propiedades térmicas lo que lo hace un material con una huella ambiental muy baja comparada con la huella ambiental generada por la construcción tradicional (Biehl, 2019).

En lo mencionado por los dos autores citados anteriormente, se define el Hempcrete como un material compuesto por las fibras del tallo del cannabis Sativa mezclados con cal, lo que le confiere las propiedades térmicas, estructurales y ambientales del cannabis Sativa y las propiedades desinfectantes de la cal. Estas propiedades hacen del Hempcrete un material competitivo en el mercado con un gran potencial que puede llegar a reemplazar los materiales tradicionales en las construcciones futuras, lo que generaría un cambio positivo en el medio ambiente y en la sociedad (Biehl, 2019).

El impulso de este material en la industria de la construcción puede generar cambios ambientales ya que cuenta con una gran cantidad de cualidades que lo señalan como un material sostenible, cualidades que provienen del cannabis Sativa como la gran capacidad de absorción de dióxido de carbono, un rápido crecimiento, capacidad de absorber contaminantes del suelo, entre otros; estas propiedades son adoptadas por el material fabricado (Hempcrete) lo que permite que este material tenga una huella de carbono negativa y disminuya la contaminación (Muñoz, et.al, 2021).

**Figura 1- 1:** Muro construido con bloques de Hempcrete.



Fuente: (UK Hempcrete) <https://www.ukhempcrete.com/load-bearing-hempcrete-blocks/>

En la Figura 1-1 se observa un muro construido con bloques de cannabis Sativa, este material es un buen antiséptico natural. Su uso en la construcción protege la construcción de podredumbre, moho, hongos y plagas. Los muros de cannabis Sativa presentan ventajas en la construcción como ecología, alto aislamiento térmico y acústico, antiséptico natural, bajo costo de construcción. Este material de construcción es totalmente respetuoso con el medio ambiente y uno de los más asequibles del mercado. Actualmente se promueve activamente los servicios para el diseño y construcción de casas, baños, casas de verano, casas de campo y otras estructuras de la hoguera de cannabis Sativa. Los muros de ladrillo ligero de cannabis Sativa constituyen uno de los mejores materiales en la construcción (Dávila, 2021). El ladrillo de cannabis Sativa se hace utilizando una hoguera, que se extrae de la paja de cannabis Sativa. El material se obtiene mezclando fuegos húmedos y un aglutinante con cal en la composición. La hoguera es un relleno. Este es un material orgánico que interactúa bien con los componentes aglutinantes del yeso (López, 2018).

#### **1.2.4 Requisitos para la elaboración de ladrillos de mampostería**

Se debe tener cuidado al entrar en contacto con el material ya que es alcalino en su forma pura. Antes de comenzar a trabajar, use un respirador y guantes de goma gruesos. La cal

es corrosiva y puede causar quemaduras graves. En el proceso de construcción de una casa con este material, no se utilizan máquinas especiales (Vasic, 2020). Se vierte una composición semiseca en los moldes, se amasa a mano con un accesorio de madera. Después de eso, se vierte ladrillo de cannabis Sativa, se deja durante 4-5 semanas, tiempo durante el cual se seca. Luego terminan, apliquen yeso tipo cal o arcilla (Ramos, 2019).

El material de cannabis Sativa da fuerza a las estructuras de marcos de madera, se utiliza para la decoración exterior de las casas. El ladrillo de cannabis Sativa contiene fibra, que retiene el calor durante mucho tiempo y proporciona un uso cómodo del material ecológico (Dávila, 2021). El ladrillo de cannabis Sativa es higroscópico, gracias a esto, le permite controlar el nivel de humedad en la habitación. Un aglutinante que contiene una gran cantidad de cal evita el desarrollo de moho, que se sabe que es una toxina (Ospina, 2019).

El cannabis Sativa en la construcción se puede utilizar como material de construcción y como material de aislamiento térmico. Este material es natural y no tóxico y tiene muchas aplicaciones potenciales. Mayoritariamente el fuego se utiliza en la construcción para la fabricación de materiales termoaislantes y como relleno de materiales con prestaciones térmicas mejoradas (Ospina, 2019). El ladrillo de cannabis Sativa es un material de construcción natural que consiste en fuego de cannabis Sativa picado, subproductos del procesamiento del tallo y cal como aglutinante. El material se repone rápidamente: para construir una casa con un área de 120 metros cuadrados aproximadamente 1 ha de cannabis Sativa es suficiente, que en 14 semanas crecerá hasta 2-4 metros. Durante este tiempo, la planta absorbe una gran cantidad de dióxido de carbono y no requiere pesticidas ni herbicidas en absoluto (Ramos, 2019). Como resultado, una persona recibe no solo un material que es inofensivo para él y el medio ambiente, sino también algo que puede ayudar a la naturaleza durante el período de producción (Ulloa, 2020).

En este sentido se presenta el Gráfico 1-3 que ilustra las características presentes en las materias primas utilizadas para la elaboración de ladrillos de mampostería. (Bermúdez et.al, 2021).

**Gráfico 1- 3:** Requisitos para la elaboración de ladrillos de mampostería

1   CAL →	2   Cemento Portland →	3   Arena lavada →	4   Fibra de Cañamo ✓
<p><b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b></p> <p>Hidróxido De Calcio 72%, Óxido de magnesio 1.5%, Sílice 1.5 %, Óxido de fierro + Aluminio 0,5%, insolubles 2.0%</p> <p><b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b></p> <p>Humedad 1.0% Granulometría 85.0%</p> <p><b>CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS</b></p> <p>Color Blanco o ligeramente amarillento, sin olor, densidad 1.117 g/, 1-11-12.5 a 25° (solución acuosa) su punto de fusión es 2570°C y su punto de ebullición es de 2850°C</p>	<p><b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b></p> <p>Óxido de magnesio 6.0% y Trióxido de azufre 3.5%.</p> <p><b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b></p> <p>Granulometría 85.0% Resistencia mínima a la compresión: 3 días 13.0 MPa, 7 días 20.0 MPa y 28 días 28.0 MPa.</p>	<p><b>Granulometría</b></p> <p>PT 200%: inferior 1,6. Superior 4,7, promedio 3,1</p> <p><b>Módulo de finura:</b></p> <p>inferior 2,2. Superior 3,5, promedio 2,8</p> <p><b>Densidad (kg/m³):</b></p> <p>inferior 2581. Superior 2689, promedio 2622</p>	<p><b>Propiedades físicas</b></p> <p>Gravedad específica (g/mm³): 1.47 g/mm³ Propiedades térmicas: Alta Conductividad térmica: Capacidad de calor: 4,055 kcal / kg</p> <p><b>Propiedades mecánicas</b></p> <p>Alta resistencia tracción y rigidez. Baja elasticidad, Baja tenacidad, Durabilidad, Flexibilidad</p> <p><b>Propiedades químicas:</b> Absorción de humedad (%): 9.40 ± 0.53 %, Absorción de agua (%): 85-105 %. Efecto de la luz y la exposición al aire libre: Muy resistente, Reacción a los álcalis: No afectan Reacción a los ácidos: Fácilmente afectada. Afinidad por los colorantes: Muy bueno, Efecto de moho: Altamente resistente, Prueba de combustión: olor a papel quemado, ligero residuo de ceniza. Estabilidad química.</p>

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos a partir de Bermúdez et.al (2021).

### 1.2.5 Propuesta de eco-ladrillos a base de cannabis sativa como alternativa al ladrillo convencional

Construir casas con materiales ecológicos es cada vez más popular y demandado. Esta tecnología es utilizada por desarrolladores de edificios de oficinas, así como por personas que construyen casas para recreación o residencia permanente. Pronto el uso de ladrillos de cannabis Sativa competirá con otros materiales y revolucionará la industria de la construcción. Es carbono negativo porque el cultivo de cannabis Sativa absorbe dióxido de carbono. La planta se utiliza para crear material permeable al vapor, duradero y de la más alta calidad. Las casas de ladrillo de cannabis Sativa son duraderas (Dávila, 2021). El ladrillo de cannabis Sativa se valora por el hecho de que retiene el calor durante mucho tiempo. El material proporciona un buen aislamiento acústico y transpirabilidad. No es inflamable. (López, 2018).

El ladrillo ordinario consiste en cemento, grava y piedra triturada. El ladrillo de cannabis Sativa no es tan denso, pero llena bien las paredes. Este material orgánico se denomina ladrillo porque su relleno reacciona con el aglomerante.

El ladrillo de cannabis es adecuado para rellenar paredes con estructura de madera (Dávila, 2021). Por estos criterios, vale la pena elegirlo. Este material respira, lo que significa que dura mucho tiempo y no se deteriora; es un material alcalino que no está sujeto a procesos de corrosión, interactúa bien con la madera, a menudo utilizado para rellenar los tabiques de los edificios residenciales. Otra ventaja del material es la ligereza, la densidad del ladrillo de cannabis es la misma que la de algunos tipos de ladrillo celular: unos 350 kg/m<sup>3</sup>. Las propiedades térmicas dependen de la cantidad de mortero de cal. (López, 2018).

El material fabricado a base de cannabis, es un material que tiene todas las posibilidades de revolucionar el mundo de la construcción, porque encaja en la tendencia de los recursos renovables. Se caracteriza por una huella de carbono negativa, ya que sus cultivos absorben grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, muchísimo más que el que se produce en la fabricación del material. (Ufarte, 2019). Hempcrete permite una alta capacidad de aislamiento y almacenamiento térmico, tiene permeabilidad al vapor, no es combustible y, después de la demolición del edificio, puede usarse como fertilizante (Ulloa, 2020).

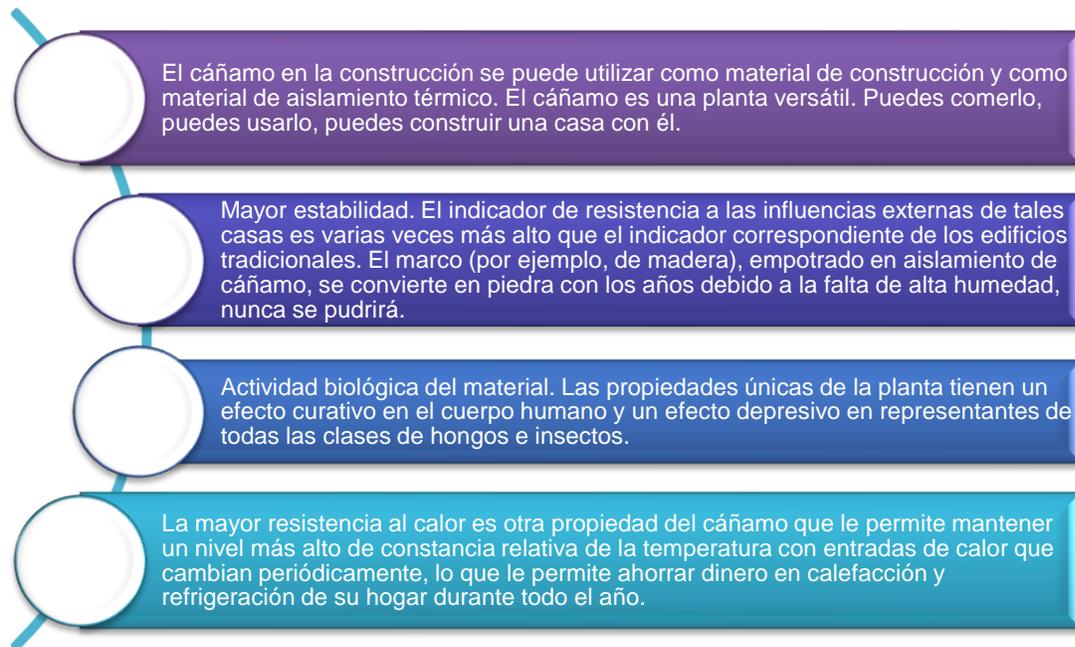
A pesar de que no tiene función portante, este ladrillo proporciona un excelente relleno de la pared con material que utiliza medios naturales de densidad. Se llama "concreto" porque es una combinación de relleno con un aglutinante, y debido al endurecimiento gradual, la cal se vuelve más y más dura bajo la influencia del proceso de carbonización, de modo que año tras año la estructura envejece y la cal se convierte lentamente en piedra. (Vasic, 2020).

El ladrillo de cannabis se utiliza, por regla general, en combinación con una estructura de madera rellena las particiones: realiza la función de aislamiento térmico, así como la rigidez (Villalobos, 2011). Este ladrillo es un material relativamente ligero: la densidad típica de las paredes es de unos 350 kg/m<sup>3</sup>, que es comparable a los grados ligeros de ladrillo celular. Apto para el aislamiento térmico de cubiertas y paredes, y suelos, cambiando la proporción de fuego de cannabis Sativa utilizado para el mortero de cal, lo que afecta a la resistencia y las propiedades térmicas (Ramos, 2019).

El compuesto de cal y cannabis Sativa, conocido coloquialmente como ladrillo de cáñamo, es un material que cumple la función de aislamiento térmico y rigidez en las estructuras de entramado de madera, especialmente en las paredes exteriores. Su alta porosidad

determina buenos parámetros de aislamiento térmico, y la fibra contenida en las ramas del suelo proporciona una alta capacidad de almacenamiento de calor, lo que conduce a una pérdida de calor limitada y un confort térmico de uso garantizado (Ospina, 2019). El aglutinante de cal altamente alcalino protege el material del desarrollo de hongos y moho, que son una fuente de toxinas, y también proporciona una resistencia al fuego fiable (Dávila, 2021). (Gráfico 1-4).

**Gráfico 1- 4:** Propiedades del cannabis como material constructivo



Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos a partir de Bermúdez et.al (2021).

## 1.3 Teorías complementarias

### 1.3.1 Cadena productiva del cannabis medicinal en Colombia

Juan Mauricio Ramírez (Fedesarrollo, 2019), en su investigación sobre la industria del cannabis medicinal en Colombia habla sobre la cadena productiva de esta planta en el país y hace una descripción de cada actividad dividiéndola en cuatro etapas: producción de semillas y esquejes, cultivo, extracción de la materia prima y fabricación de productos.

**Producción de semillas y esquejes:** La producción de semillas se hace mediante un proceso de propagación que permite el mejoramiento del material vegetal y la generación de variedades mediante un proceso de fito-mejoramiento que sirve para la obtención de nuevas semillas de cannabis.

Los esquejes son obtenidos por medio de plantas denominadas “plantas madre” que se siembran y cumplen la única función de producir ramas que posteriormente son cortadas y sembradas para dar origen a una nueva plántula de cannabis, denominada “esqueje” (López, 2018).

**Cultivo:** El cannabis es una planta que se consigue con siembra de semillas o de esquejes. Los tipos de cultivo pueden ser a cielo abierto (exterior) o bajo invernadero (interior). El cultivo a cielo abierto implica más cuidado, debido a que las plantas se encuentran más vulnerables al ataque de animales y si no se tienen en cuenta las condiciones climáticas, estas también pueden ser un gran factor de afectación al cultivo. Las ventajas de este tipo de cultivo es la ilimitación que tienen las plantas para crecer libremente y en cuanto al factor económico este cultivo puede traer un gran ahorro económico debido a que no hay la necesidad de instalar infraestructura.

En cuanto a los cultivos efectuados bajo invernadero, son más controlados y presentan menos riesgos al ataque de animales y afectaciones por los cambios climáticos debido a que se encuentran resguardados bajo una infraestructura diseñada especialmente para proteger las plantas. Una de las desventajas de este tipo de cultivo es que las plantas se encuentran más limitadas en su crecimiento (Biehl, 2019).

**Extracción de la materia prima:** en la extracción se obtiene la materia prima que de la planta para utilizarla en la fabricación de productos. Esta materia prima puede ser las fibras del tallo, la flor seca, las semillas y la extracción de aceite (Minsalud, 2017).

**Fabricación de productos:** en esta etapa se obtienen como resultados los productos derivados del cannabis para fines industriales, medicinales y científicos.

La preparación obtenida de los derivados del cannabis es denominada como “producto terminado” que posteriormente se comercializa y/o se distribuye como un producto que puede ser consumido o usado por las personas. Para la fabricación de estos productos es

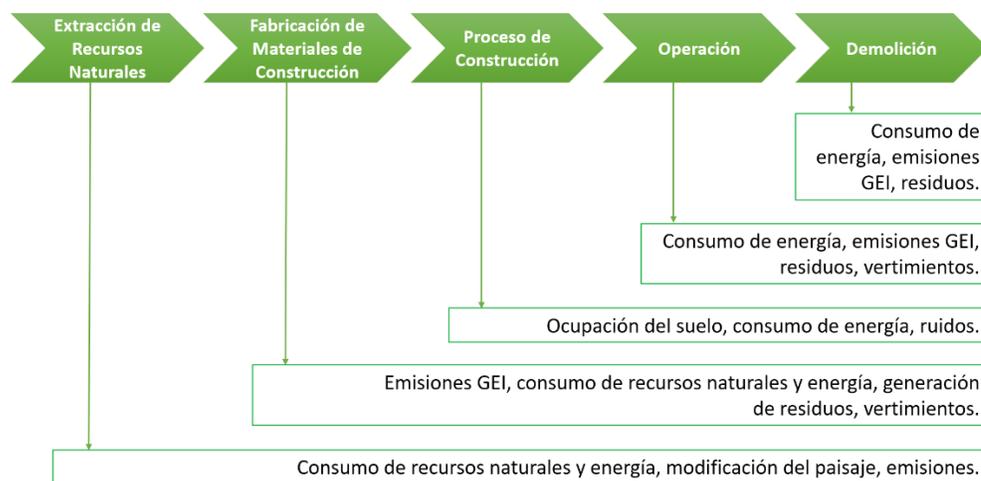
necesaria la utilización de equipos con alto grado de controles de calidad, de sofisticación, y de medición de cannabinoides (Minsalud, 2017).

### 1.3.2 Construcción convencional y sus altos costos ambientales

Según Sanz (2012), la industria de la construcción se destaca por contribuir en gran medida al desarrollo socio-económico de un país, generando fuentes de trabajo y permitiendo el crecimiento de una sociedad. No obstante, no todos los efectos derivados de esta industria son positivos para la sociedad y para el territorio, al contrario, la industria de la construcción es una potente generadora de problemas ambientales que llevan a cambios sociales. (pp. 8-12). (Gráfico 1-5).

Debido a esto, es de vital importancia que se considere la construcción sostenible como la única forma de construir para lograr la disminución de los impactos ambientales causados por la construcción.

**Gráfico 1- 5:** Costos ambientales derivados de la construcción convencional.



Fuente: [https://www.eoi.es/wiki/index.php/Construcci%C3%B3n\\_sostenible\\_en\\_Construcci%C3%B3n\\_sostenible](https://www.eoi.es/wiki/index.php/Construcci%C3%B3n_sostenible_en_Construcci%C3%B3n_sostenible)

Los impactos generados por el sector de la construcción son:

**Consumo de energía:** La construcción, es una de las industrias que más consume este recurso pues en la realización de sus actividades, en el transporte de materiales, en la operación de las edificaciones y en la fabricación de materiales constructivos se genera

un gran desgaste de energía, se supone que esta industria es consumidora de más del 35% de este recurso a nivel mundial.

Por consiguiente, es importante abordar las posibilidades de reducir el consumo de este recurso en las nuevas construcciones, ejecutando estrategias que tengan en cuenta los aspectos necesarios para implementar la sostenibilidad a las construcciones, aspectos como los conceptos básicos de diseño (orientación) y los detalles que se deben tener en cuenta al momento de ejecutar la obra. Y también contemplar la opción de implementar nuevos y mejores materiales.

**Emisiones a la atmósfera:** El sector de la construcción con métodos convencionales tiene una elevada responsabilidad en la emisión de los gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes.

La atmosfera presenta alteraciones debido a los contaminantes existentes en el aire (polvo, ruido, emisiones de CO<sub>2</sub>) que resultan de actividades de la construcción cómo el uso de combustibles, el uso de minerales, las excavaciones, la extracción de materia prima, la operación de máquinas y herramientas.

**Deforestación:** La deforestación trae efectos negativos al territorio, efectos como la erosión de los suelos, la disminución y deterioro de la biodiversidad y el aumento de los gases de efecto invernadero. Las lluvias ácidas, la tala de árboles para la construcción y los incendios son las principales causas de la deforestación.

La desaparición de la masa forestal genera consecuencias desfavorables para el ambiente, debido a que la masa forestal protege la tierra de las fuertes lluvias generando la muerte de los seres vivo que la habitan. Otra consecuencia derivada de la deforestación es la pérdida del oxígeno que producen los árboles y el aumento del CO<sub>2</sub> debido que cada vez hay menos árboles para absorberlo.

**Consumo de recursos y generación de residuos:** El proceso constructivo requiere una elevada cantidad de materiales para su ejecución, los cuales pasan por diferentes procesos (extracción, producción, uso, operación y generación de desecho) que desgastan en gran cantidad los recursos naturales. Además de que, al finalizar su vida útil, estos materiales no están diseñados para una reutilización, lo que produce una gran cantidad de residuos que no pueden ser recuperados y terminan siendo desechados.

## 1.4 Conceptos

Gráfico 1- 6: Identificación de conceptos.



Fuente: Elaboración propia

### 1.4.1 Contaminación ambiental

La evidencia muestra que, desde la revolución industrial, la cantidad de contaminantes en la atmósfera ha aumentado día a día, causando graves daños a la Tierra y un aumento de los desechos sólidos. Los desechos peligrosos, los productos químicos tóxicos y las partículas afectan diariamente tanto a los humanos como a los animales. Muchas de las toxinas, desechos químicos y plásticos han llegado a la cadena alimentaria ecológica (Severiche et. al, 2016). Durante las últimas décadas, se han identificado diversas fuentes de sustancias nocivas que han cambiado la composición del agua, el aire y el suelo en el medio ambiente. Las sustancias que causan contaminación se conocen como contaminantes.

El contaminante puede ser un elemento químico (metal tóxico, radionúclidos, compuestos organofosforados, gases); elemento geoquímico (polvo, sedimentos); componente o resultado biológico; elemento físico (calor, radiación, onda de sonido) que una persona emite con o sin culpa en el medio ambiente con efectos negativos y dañinos (Severiche et. al, 2016).

Dichos efectos indeseables pueden ser directos (que afectan a los humanos) o indirectos, mediados por organismos de recursos o el cambio climático. Dependiendo de la naturaleza de los contaminantes, así como de la contaminación posterior de los componentes ambientales, se determina en qué tipos de contaminación se dividen: aire, agua, suelo, tierra. También se distinguen la contaminación acústica, radiactiva y térmica (Franco et. al, 2020). Entre los tipos más peligrosos de contaminación, se notan en primer lugar el aire y el agua. Si pierden sus antiguas propiedades, existe una grave amenaza para el medio ambiente, las personas, las plantas, los animales y todos los organismos vivos.

### **1.4.2 Medio ambiente**

En un sentido amplio, el medio ambiente se refiere a las diversas condiciones en las que se desarrolla un organismo. Hablando de eso, en primer lugar, se refiere al entorno natural de una persona. Es lo que está en peligro y cambiando debido a la actividad antropogénica (Arroyave & Marulanda, 2019). Un entorno favorable es una condición necesaria para el sostenimiento de la vida en el planeta. Si hay problemas serios en él, los ecosistemas comenzarán a cambiar. Los organismos no podrán comer, reproducirse y desarrollarse.

Las funciones del medio ambiente incluyen provisión de hábitats para organismos; proporcionar alimentos a los organismos; asegurar la biodiversidad de las especies; proporcionar a los organismos los recursos necesarios para el desarrollo y la reproducción; asegurar condiciones climáticas favorables para la vida; implementación de la función estética (Campo et. al, 2018).

Por otra parte, Conte y D'elia (2018) sostienen que es necesario regular un nivel legislativo la relación entre el hombre y la naturaleza. Una actitud consumista descontrolada hacia la naturaleza está agotando rápidamente los recursos del planeta, empeorando las condiciones de vida. Algunas decisiones, como el Protocolo de Montreal para la Protección de la Capa de Ozono, se toman a nivel internacional. La ONU promueve la coordinación de ambientalistas en todo el mundo, patrocina proyectos ecológicos y monitorea la implementación de la regulación sobre emisiones de sustancias nocivas. En el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, se proponen e implementan proyectos para reducir el impacto negativo del ser humano en la atmósfera y los ecosistemas.

### **1.4.3 Construcción sostenible**

La construcción sostenible es aquella que, medioambientalmente hablando no consume rápida y excesivamente los recursos naturales, no crea focos de contaminación y no genera gran cantidad de residuos sólidos (desechos) por lo que la construcción sostenible tiene como fin la protección y reutilización de los recursos naturales, la utilización de recursos renovables y reciclables, la disminución del consumo de energía, la protección del medio ambiente, la creación de edificaciones con un ambiente saludable y no tóxico y la extracción de materias primas sin producir emisiones de gases de efecto invernadero ni residuos. (Biera, 2017, p. 30, 31, 32)

La construcción sostenible tiene en cuenta cada efecto generado por una edificación en el ambiente en todo su proceso desde la construcción, la operación y la demolición; también teniendo en cuenta el aprovechamiento de los recursos naturales generando un impacto muy bajo desde los procesos de extracción, fabricación y transporte de los materiales, las técnicas de construcción y la ubicación del proyecto. (Valero, 2017, p. 286).

La construcción sostenible tiene como principio crear estrategias que garanticen la protección del medio ambiente en las actividades constructivas, sin disminuir la calidad del proyecto ni del confort. Para ejecutar una construcción sostenible, se debe hacer un análisis previo de todos los aspectos y etapas de la construcción para lograr una edificación eficiente, rentable y respetuosa con el medio ambiente. En la construcción sostenible también es importante la utilización de materiales reciclables y reciclados, el uso materia primas obtenidas de una forma limpia, una óptima utilización de los recursos y la disminución del desperdicio y de la generación de residuos. (Uribe, 2012, p. 24).

Debido a lo anterior, se puede determinar que la construcción sostenible establece la importancia del empleo de alternativas constructivas limpias y sanas para el ambiente, que permitan edificaciones eficientes y respetuosas con el medio ambiente, logrando su protección y su conservación.

### **1.4.4 Bioconstrucción**

Actualmente, son cada vez más las personas que comienzan a consumir productos orgánicos para lograr un estilo de vida más saludable, ya que son conscientes de la gran

cantidad de productos químicos, muchos de los cuales son tóxicos, y contienen cualquier alimento que podemos comprar en el supermercado. Y es que el medio ambiente está saturado de sustancias tóxicas, ya sea por la alimentación, la contaminación del aire incluso las viviendas, edificios, carreteras, puentes. Sí, las obras civiles y arquitectónicas también pueden ser perjudiciales por la presencia de productos químicos empleados en su construcción (Carvalho, 2015).

Estos contaminantes se pueden encontrar en materiales de construcción como el cemento (la mayoría de las casas se construyen con él), generalmente contienen metales pesados como cromo, zinc y otros. Las propias pinturas y barnices derivados del petróleo liberan elementos volátiles y tóxicos como tolueno, xileno, cetonas, etc (Vanga et.al, 2021).

La Bioconstrucción está dominada por un impacto natural y por lo tanto menor, este impacto ambiental no se inicia cuando el edificio ya está construido o durante la ejecución de las obras, sino que este impacto es en todas sus etapas: extracción, transporte, manipulación, puesta en marcha, operación, fin de vida y eliminación.

En los últimos años, la construcción de materiales ambientales se ha vuelto cada vez más popular. Esta tendencia se forma como resultado de la contradicción entre el ritmo moderno de construcción y la protección del medio ambiente. La producción de materiales y procesos de construcción está asociada al consumo de grandes cantidades de energía y la emisión de sustancias nocivas que contaminan el medio ambiente. Los edificios son un gran consumidor de energía y materiales, y se ha descubierto que casi dos tercios de la contaminación global es causada por la construcción.

#### **1.4.5 Resistencia a la compresión**

Al elegir un material de construcción, es necesario prestar atención a sus principales características técnicas, que conducirán a crear un objeto cómodo y duradero. La resistencia de un ladrillo es uno de los indicadores de la calidad del material, lo que le permite evaluar para qué fines será el más relevante. Se utilizan diferentes tipos de productos de ladrillo en diversas áreas de la construcción, y el grado de resistencia suele ser el factor determinante al elegir un material.

La resistencia a la compresión de un ladrillo es la capacidad de un producto para soportar cargas y esfuerzos mecánicos, resistiendo y sin mostrar signos de destrucción y deformación.

No hay fragilidad del cemento, por lo que no se requieren juntas de dilatación. A pesar de la menor densidad del hormigón, los ladrillos de cannabis Sativa se caracterizan por una resistencia a la compresión de aproximadamente 1 MPa, que es 20 veces menor que el hormigón ordinario de baja calidad. La resistencia y flexibilidad del cannabis contribuye a la alta confiabilidad de agrietamiento e incluso en zonas sísmicas (Bermúdez et.al, 2021). Cuanto mayor sea la resistencia del ladrillo que se haya elegido para la construcción, más resistente al estrés mecánico y al daño será la estructura que se planea construir.

La NTC 4025 “Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos” establece la resistencia mínima que debe soportar una unidad de mampostería estructural o no estructural.

**Tabla 1- 3:** Resistencia mínima a la compresión según la unidad de mampostería

Tipo	Mampostería estructural		Mampostería no estructural	
	Resistencia mínima a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )		Resistencia mínima a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Promedio 5 unidades	Unidad	Promedio 5 unidades	Unidad
PH	50	35	30	20
PV	180	150	140	100
M	200	150	140	100

Fuente: NTC 4025

### 1.4.6 Propiedades térmicas

Los ladrillos ecológicos acumulan calor y lo distribuyen uniformemente por toda la habitación. El resultado es un clima interior agradable, incluso con temperaturas exteriores bajas. Los ladrillos de cannabis Sativa ayudan a mantener un nivel constante de humedad relativa en el edificio, absorben y eliminan la condensación y previenen el crecimiento de moho en las habitaciones. Todos los factores aseguran un entorno de calidad, diverso y saludable.

Recientemente, la construcción ecológica se ha vuelto especialmente popular. Al construir casas, se utilizan materiales naturales que no emiten sustancias tóxicas al espacio iluminado, que son absolutamente seguros para la salud humana. Una de las más buscadas en la actualidad es el ladrillo de cannabis Sativa. El material natural también se utiliza como material aislante térmico, ya que su rendimiento térmico es muy alto.

Las partes lignificadas de los tallos de las plantas procesadas de manera especial soportan perfectamente un microclima normal. Una propiedad similar formó la base para la producción de aislamiento de cannabis Sativa. Para que sea cómodo de usar, el material auxiliar de construcción se fabrica en forma de láminas o rollos. El aislamiento de cannabis Sativa en las esteras también está ganando popularidad (Souza, 2020).

El aislamiento de cannabis se debe a que está hecho principalmente de tallos leñosos triturados. Se secan, se trituran, se mezclan con aditivos especiales y se hornean. Bajo la influencia de altas temperaturas, las fibras se unen firmemente entre sí. Se forma una masa homogénea, exuberante y elástica. Debido a la unión térmica de las fibras, el material natural es duradero y fiable, y se utiliza para aislar casi cualquier edificio (Villa et.al, 2019). El aislamiento a base de cannabis puede absorber la humedad y también liberarla fácilmente en el espacio iluminado.

La industria de la construcción continúa buscando materiales innovadores para lograr un bajo consumo de energía y un entorno de vida saludable. Los materiales de construcción se clasifican como amigables con el medio ambiente cuando se caracterizan por ciertas propiedades, entre ellas. Los ladrillos ecológicos consisten en cannabis Sativa, polvo de cal natural y una mezcla de minerales. El cannabis Sativa tiene propiedades antiestáticas y es neutro en carbono. Se caracteriza por una conductividad térmica muy baja, y los componentes minerales de los ladrillos son adecuados para la resistencia mecánica y excelentes propiedades de aislamiento térmico. El material resultante es ignífugo y extremadamente confiable en la construcción de muros de carga, y no se requiere aislamiento térmico adicional.

Los ladrillos de cannabis son la materia prima preferida para la construcción de paredes externas e internas de casas ecológicas. Los muros construidos con ellos "respiran" y tienen propiedades de aislamiento térmico que superan a las de los muros de ladrillo y hormigón. De esta forma, se gana más espacio habitable en la misma superficie edificada.

Los ladrillos de cannabis actúan como absorbentes y reguladores de la humedad y son más fáciles de trabajar que otros materiales porque son livianos y compactos.

El aislamiento de cannabis es universal, se utiliza en la construcción de viviendas para las siguientes funciones: aislar las paredes desde el interior; utilizado para el aislamiento térmico de fachadas, equipar fachadas ventiladas, crear aislamiento térmico en particiones interiores.

### **1.4.7 Ladrillos ecológicos**

Las estructuras civiles y arquitectónicas están formadas por muchos elementos como cemento, vigas, piedras, agua, arena y otros. Cada uno de estos es de gran importancia para la estabilidad de una estructura, pero también pueden actuar como contaminantes, ya sea por sus procesos de fabricación o por los residuos de su uso. A continuación, veremos la opción ecológica y respetuosa con el medio ambiente conocido como ladrillos sostenibles o ecológicos.

La obra arquitectónica y de construcción consta de diversos elementos (cemento, tejas, vigas, etc.) para llevar a cabo la obra de construcción, siendo los ladrillos los principales elementos utilizados en la ejecución de estas estructuras, los ladrillos son masas de arcilla cocida que tienen forma rectangular y se utiliza para construir muros y estructuras, están hechos de diversos materiales como arcilla, caolín, alúmina y otros minerales; se compactan a altas temperaturas hasta que toman la forma deseada (Valero, 2017).

Actualmente existen muchas iniciativas ambientales basadas en la reposición de materiales, elementos y procesos que empeoran el estado del medio ambiente, esto se debe a los altos niveles de contaminación que se observan en el planeta, la destrucción de ecosistemas y la acumulación de basura. El ladrillo es un tipo de material que contamina agresivamente el medio ambiente porque requiere mucha energía para producirlo. En este sentido, la compañía ofrece ladrillos sostenibles, contruidos con materiales que no tienen un impacto negativo en el medio ambiente, siguiendo los principios de producción acondicionados y utilizando elementos ecológicos para la construcción, también conocido como eco-ladrillo (Ramos, 2019).

La sustitución del ladrillo tradicional pretende utilizar materiales respetuosos con el medio ambiente que contribuirán al ahorro energético, reducirán las emisiones de carbono y contribuirán a la sostenibilidad medioambiental; Los ladrillos ecológicos están hechos de elementos que no tienen impacto en el medio ambiente. Ofrecen igual o más resistencia que las convencionales, además de comodidad y seguridad (Valero, 2017). Los ecoladrillos o ladrillos ecológicos pueden estar hechos de una variedad de materiales que ofrecen muchos beneficios, pero todos ofrecen beneficios ambientales y de sostenibilidad; Algunos de estos suministros incluyen botellas de plástico, arcilla y otros. Actualmente, son muchas las empresas que ofrecen ladrillos ecológicos reciclados a un precio asequible al público, e incluso existen diferentes formas de fabricar estos utensilios a partir de materiales caseros.

## 1.5 Tendencias

Entre los referentes que se pueden asociar a este proyecto se encuentra el Hempcrete, un material usado en Norteamérica y Europa para la creación de edificaciones sostenibles.

### 1.5.1 Hempcrete: Ladrillo y bloques de cannabis Sativa

Figura 1- 2: Propiedades del Hempcrete.



Fuente: <https://www.ismokemag.co.uk/wp-content/uploads/2016/04/konop-bg-Hemp-and-hempcrete-can-change-the-way-we-1265964603.jpg>

Ochando (2013), afirma que el Hempcrete es un compuesto de construcción similar al concreto, que nace a partir de la mezcla de las fibras leñosas de la planta de cannabis Sativa con un aglomerante a base de cal y agua.

El Hempcrete es un ladrillo hecho con fibras de cannabis Sativa, sirve para varios propósitos de construcción y de aislamiento, es una mezcla que permite ser moldeada o aplicada directamente. Aunque no es verdaderamente un ladrillo, ya que no se le agregan áridos gruesos, es un compuesto de fibras de cannabis Sativa y cal hidráulica. Se trata de un material muy ecológico, transpirable, aislante y auto negativo de carbono.

#### ▪ **Propiedades**

Al unir las fibras de cannabis con cal hidráulica, se logra un material que cuenta con propiedades mecánicas, que, aunque no sean tan resistentes como las del ladrillo convencional, son muy adecuadas para construir muros.

En cuanto a la construcción sostenible, el material Hempcrete, tiene carbono negativo, lo que significa que necesita menos agua que el cemento tradicional, lo que contribuye a la preservación de este recurso.

En la producción, distribución y puesta en obra, del Hempcrete produce CO<sub>2</sub>, pero gracias a que los cultivos de cannabis Sativa tienen una rápida absorción, esto no genera un problema, pues gracias al cannabis Sativa se puede destruir más dióxido de carbono del que se genera

#### ▪ **Aplicaciones**

El Hempcrete se usa para construcciones de un solo piso, debido que no es un material de gran carga, aunque mantiene una buena resistencia al impacto que lo hace beneficioso al ser usado en zonas propensas a terremotos. También es usado para aislamiento de techos, pisos y paredes ya que cuenta con una gran capacidad de aislamiento.

#### ▪ **Impacto ambiental**

En cuanto al impacto ambiental, el Hempcrete es un material netamente natural y sostenible que disminuye en gran medida las emisiones de dióxido de carbono debido a que, en la operación de la edificación el Hempcrete tiene la capacidad de absorber dióxido

de carbono. Además, por ser un material biodegradable, no genera grandes cantidades de desechos al final de su vida útil.

- **Ventajas:**

Entre las ventajas que presenta el Hempcrete se encuentran: la capacidad de regular la temperatura y la humedad, protección y resistencia al fuego, aislamiento acústico y cualidades sanitarias y medioambientales.

### **1.5.2 Trabajos similares**

La arquitectura sostenible es un conjunto de soluciones de ingeniería y arquitectura que ayudan a equilibrar la alta calidad del entorno natural de la vida humana para mantener el equilibrio ecológico. La base metodológica de la arquitectura sostenible es el seguimiento de la evaluación del entorno humano, es decir, la relación de las ciencias arquitectónicas, de ingeniería, y económicas con el entorno humano, lo cual es necesario para cuantificar su calidad.

Gracias a ello, se empezaron a aplicar tecnologías de ahorro energético, y como consecuencia, la aparición de casas pasivas o activas. La esencia de la existencia de estas casas es reducir el costo del trabajo de calor y energía de los edificios y estructuras. Ahora utilizan casas energéticamente eficientes, cuyo diseño se basa en el deseo de reducir el impacto negativo sobre el medio ambiente natural o la salud humana (Campo et.al, 2018). Para evitarlo utilizan materiales respetuosos con el medio ambiente, tecnologías seguras en la construcción de un edificio, aplican técnicas para el uso eficiente de la energía y los recursos. En este sentido se ha realizado un análisis del estado del arte en relación a investigaciones que soportan el presente estudio. (Tabla 1-4)

**Tabla 1- 4:** Estado del arte

Autor (es)	Fecha	Titulo	Resumen
Bermúdez Rojas, J, Cifuentes Baquero, M y Daza Gómez, M.	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 Bogotá	La arquitectura moderna busca constantemente nuevas soluciones. Estas búsquedas se basan en el proceso de cambios estructurales globales en la cultura del consumo provocado por el advenimiento de la era de la información, que está reemplazando a la sociedad posindustrial. Los logros modernos del pensamiento científico en relación con los cambios climáticos y naturales planetarios generales en curso en el planeta juegan un papel no pequeño en la formación de enfoques fundamentalmente nuevos para nuevas soluciones arquitectónicas.
Biehl, Z.	2019	El asombroso mundo del cáñamo: Hempcrete: el material de construcción más sostenible del mundo	<p>Las casas de hormigón de cáñamo son cálidas, duraderas y respetuosas con el medio ambiente. La idea de desarrollo sostenible, es decir, que limita el impacto negativo de los edificios en el medio ambiente, ha ido ganando popularidad recientemente.</p> <p>El hormigón de cáñamo es un material que tiene todas las posibilidades de revolucionar el mundo de la construcción, porque encaja en la tendencia de los recursos renovables. Se caracteriza por una huella de carbono negativa, ya que se absorbe más dióxido de carbono durante el crecimiento del cáñamo que el que se produce posteriormente para fabricar materiales de construcción a partir de él. Hempcrete exhibe una alta capacidad de aislamiento y almacenamiento térmico, tiene permeabilidad al vapor, no es combustible y, después de la demolición del edificio, puede usarse como fertilizante.</p>
Dávila, H	2021	Aplicaciones de cáñamo como alternativa rentable a la Reactivación económica de Ecuador tras la pandemia De covid-19	El potencial de la industria del cannabis es enorme, argumenta Dávila (2018). El cáñamo industrial tiene una serie de ventajas únicas y es una materia prima alternativa para el algodón y el lino para tejidos y nitratos de celulosa, una materia prima alternativa para plásticos al aceite, una alternativa a la fibra de vidrio y la fibra de lino como base para la producción de materiales compuestos. El cannabis puede reemplazar la madera y el papel.

**Tabla 1- 5:** (Continuación)

Autor (es)	Fecha	Titulo	Resumen
Ospina, O.	2019	Diseño de modelo de negocio verde a partir de la producción de ladrillos a base de cáñamo industrial.	El hormigón de cáñamo se utiliza, por regla general, en combinación con una estructura de madera. Rellena las particiones: realiza la función de aislamiento térmico, así como la rigidez. El hormigón de cáñamo es un material relativamente ligero: la densidad típica de las paredes es de unos 350 kg/m <sup>3</sup> , que es comparable a los grados ligeros de hormigón celular. Apto para el aislamiento térmico de cubiertas y paredes, y suelos, cambiando la proporción de fuego de cáñamo utilizado para el mortero de cal, lo que afecta a la resistencia y las propiedades térmicas.
Souza, E.	2020	Hormigón de cáñamo: De los puentes romanos a un posible material del futuro.	El hormigón de cáñamo permite construir edificios saludables, debido a su capacidad para absorber y eliminar la humedad del aire interior. Esto ayuda a regular pasivamente la humedad y evita que se forme condensación, lo que puede provocar la acumulación de toxinas y el crecimiento de moho negro". El hormigón de cáñamo y las estructuras fabricadas con él son "transpirables" (permeables al vapor de agua), lo que prolonga su vida útil y aumenta la eficiencia térmica del edificio. El hormigón de cáñamo se caracteriza por un alto grado de alcalinidad: protege el fuego de cáñamo del desarrollo de corrosión y moho, de hongos e insectos.

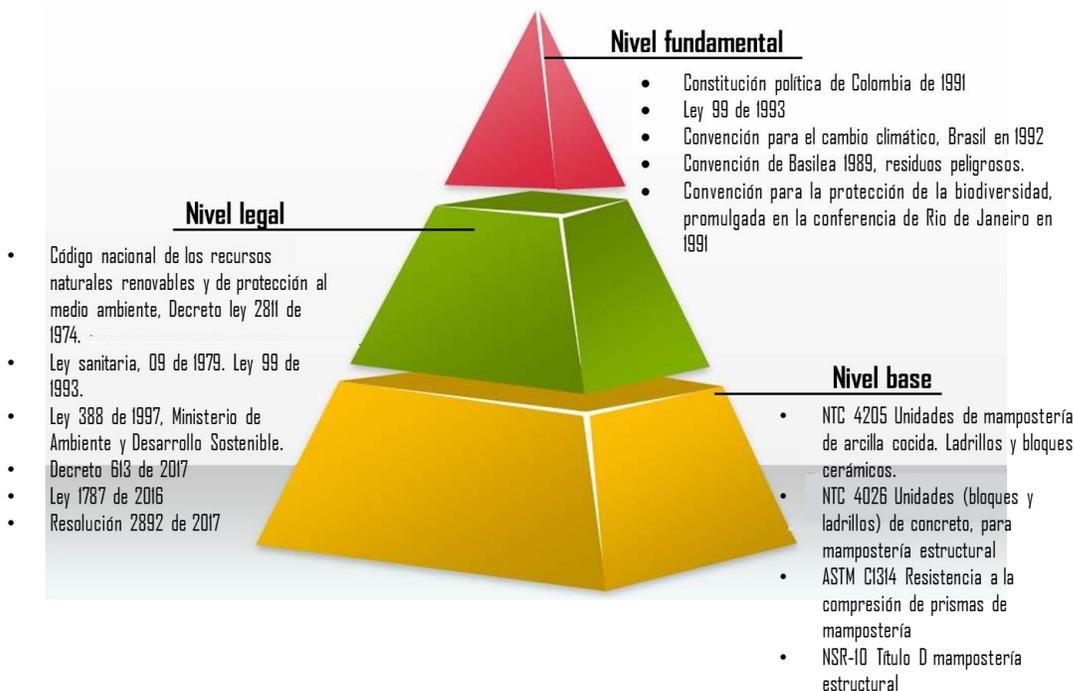
Fuente: Elaboración propia.

## 1.6 Marco normativo

En 1993, en el Congreso Mundial de Arquitectos, se adoptó la "Declaración de Interdependencia para un Futuro Sostenible", que indica que el entorno arquitectónico y los edificios tienen el impacto más negativo de las actividades antropogénicas en el entorno natural. Por lo tanto, al construir estructuras, los arquitectos prestan atención a la interacción del equilibrio ecológico y la calidad de vida humana, crean un entorno que mejora el entorno natural, su estética y la condición humana. En este sentido dichas

prácticas se sustentan en un marco normativo que se relaciona a continuación. (Gráfico 1-7)

**Gráfico 1- 7:** Pirámide de Kelsen - Jerarquía normativa



Fuente: Elaboración propia

### 1.6.1 Nivel fundamental: Constitución nacional y tratados internacionales

- **Constitución política de Colombia de 1991.**

La Constitución Política de Colombia encuadra la política ambiental colombiana, la cual estipula que el Estado debe proteger el ambiente, evitar y disminuir el deterioro ambiental.

Algunos de los derechos que son protegidos por la Política Pública de Construcción Sostenible son:

- La protección de las riquezas culturales y naturales de la Nación
- artículo 8, el derecho a la vida digna
- artículo 11, el derecho al saneamiento ambiental

–artículo 49, el derecho a una vivienda digna

–artículo 51, el derecho a la propiedad y su función social y ecológica

–artículo 58, el derecho a un ambiente sano

–artículo 79 y artículo 80, el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible.

La constitución es el documento base para el desarrollo de este proyecto, ya que determina las normas que protege el sistema ambiental y rige las actividades humanas para proteger el ambiente.

- **Ley 99 de 1993**

La ley 09 de 1993 por su parte, define el marco institucional para velar por la protección del medio ambiente y mitigar los impactos ambientales de las actividades humanas.

Esta ley es un fundamento muy importante para la realización de este proyecto debido al enfoque sostenible que se tiene propuesto implementar en las nuevas construcciones. En esta ley se tienen en cuenta los parámetros ambientales, sociales y económicos necesarios para mejorar y proteger el ambiente.

A continuación, se describen algunos tratados internacionales de los cuales se ha hecho participe Colombia para ayudar a solucionar los diferentes problemas ambientales que existen en el país.

- **Convención para el cambio climático, Brasil en 1992,**

Esta convención busca la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera.

- **Convención de Basilea 1989, residuos peligrosos.**

Esta Convención tiene por objeto disminuir la generación de residuos con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente. Ratificado por Colombia mediante la Ley 253 de 1996.

- **Convención para la protección de la biodiversidad, promulgada en la conferencia de Rio de Janeiro en 1991.**

En esta convención se pretende la reducción de la producción de gases de efecto invernadero, de residuos peligrosos y la conservación de la biodiversidad.

Los tratados internacionales fueron creados con el fin de disminuir la contaminación ambiental y proteger el medio ambiente, son importantes para este proyecto porque en ellos se enmarca lo que se quiere lograr con la implementación de este trabajo.

### **1.6.2 Nivel legal: Leyes nacionales, locales, tratados y decretos ley**

- **Código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente, Decreto ley 2811 de 1974.**

Este código es un fundamento muy importante, ya que menciona los aspectos que se deben tener en cuenta para la protección de los recursos naturales renovables y la prevención de su desgaste, lo cual es la base de este proyecto, que pretende investigar un material constructivo sostenible que logre mejorar el ambiente y proteger los recursos naturales.

- **Ley sanitaria, 09 de 1979.**

Esta ley establece los lineamientos necesarios para un mejor manejo de residuos sólidos, aguas residuales y emisiones atmosféricas con el fin de proteger el ambiente.

Con base en esta ley se puede tener una mejor guía para este proyecto debido a que tiene un enfoque ambiental para mitigar los impactos negativos que genera la construcción al ambiente.

- **Ley 388 de 1997, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.**

Para este proyecto se enmarca el objetivo de esta ley que establece mecanismos para la protección y conservación del patrimonio ecológico y del medio ambiente para garantizar la calidad de vida a los habitantes.

- **Decreto 613 de 2017**

Este decreto proporciona los aspectos necesarios para el cultivo, la producción y la fabricación de cannabis, a este proyecto, tiene gran importancia porque establece la base

normativa de la planta del cannabis Sativa para conocer lo que se puede hacer en cuanto a este cultivo.

- **Ley 1787 de 2016**

Esta ley tiene como objetivo permitir el acceso seguro e informado al uso médico y científico del cannabis y sus derivados dentro del territorio colombiano (MinSalud, 2017).

Esta ley es fundamental para llevar a cabo este proyecto debido a que, mediante esta, se puede tener acceso al cannabis y a sus derivados para la creación de productos de uso humano.

- **Resolución 2892 de 2017**

Esta resolución es de vital importancia si se quiere iniciar cultivos de cáñamo, por lo que en esta se puede encontrar la reglamentación necesaria para la obtención de la licencia para cultivo y producción de cannabis y sus derivados.

### **1.6.3 Nivel base: Sentencias, normas, contratos, testamentos**

- **NTC 4205**

Establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos de arcilla cocida, utilizados como unidades de mampostería estructural en muros interiores o exteriores y establece los parámetros con los que se determinan los distintos tipos de unidades.

- **NTC 4026**

Esta norma establece los requisitos para unidades de mampostería, perforadas o macizas de concreto, elaboradas con cemento portland, agua y agregados minerales con la inclusión o no de otros materiales, aptos para elaborar mampostería estructural.

- **ASTM C1314**

Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de prismas de piedra. Este método de prueba proporciona un medio para verificar que los materiales de mampostería utilizados en la construcción den como resultado una mampostería que cumpla con la resistencia a la compresión especificada.

## 1.7 Síntesis

Para abordar el tema de la implementación del cannabis Sativa como una alternativa de material en la construcción sostenible, se tuvo como base las teorías que fundamentan este tema. Teorías como el desarrollo de un material constructivo con un enfoque sostenible, la cual describe la importancia y la necesidad de implementar nuevas alternativas sostenibles en las construcciones para controlar la contaminación causada por la industria constructiva y conservar los ecosistemas, esta teoría define la construcción sostenible como aquella que le da una total importancia a la conservación del medio ambiente y a la disminución de fuentes de contaminación creadas por las construcciones, y que además busca alternativas constructivas para reducir la huella de carbono y el consumo de los recursos naturales. Es importante resaltar que otro aspecto relevante para lograr construcciones sostenibles es tener en cuenta el material que se va a emplear, conocer su proceso e identificar sus impactos en el ambiente.

Otra teoría mencionada en este capítulo es la que propone el cannabis Sativa como alternativa de material constructivo para lograr construcciones sostenibles, esto se propone basándose en que el cannabis Sativa, debido a su producción continua, su rápido crecimiento y su capacidad de absorber contaminantes del suelo y dióxido de carbono, proporciona beneficios ambientales que permiten la protección de los recursos naturales. La teoría que analiza el Hempcrete, un material sostenible creado a base de cannabis Sativa mezclado con cal y agua, se establece debido a la importancia que tiene mencionar que el cannabis ya es utilizado como material sostenible en otros países y los resultados positivos que ha tenido su implementación en la construcción.

En otros aspectos, se mencionan teorías complementarias, que como su nombre lo menciona, complementan las teorías mencionadas anteriormente. En las teorías complementarias se aborda el tema de la cadena productiva del cultivo de cannabis Sativa para explicar el proceso que tiene su producción y dar a conocer que es un material obtenido naturalmente y sin la inclusión de agentes contaminantes; se mencionan los problemas causados en el ambiente debido a la construcción convencional para hacer un comparativo entre las características de estas construcciones con las construcciones sostenibles.

También se presenta el cannabis Sativa como un material responsable y contribuyente con el mejoramiento del ambiente; además se le identifica como un material que protege y restaura los suelos contaminados gracias a su capacidad de captar y acumular grandes cantidades de contaminantes sin afectar su propia producción. Por otra parte, se definen conceptos que son abordados en las teorías. Por otra parte, se identifica y describe la reglamentación jurídica que determina las posibilidades que tiene el proyecto de ser realizado y así mismo lo guían para un mejor entendimiento y desarrollo.

Como se ha mostrado en el desarrollo de este capítulo el objetivo principal es establecer las teorías, conceptos y normas necesarias para dar a conocer al lector los fundamentos necesarios para lograr el estudio de un material elaborado a partir de los tallos de cannabis. Al mismo tiempo, resaltar que los arquitectos deben tener cada vez más en cuenta el impacto significativo que tienen sus proyectos en el desarrollo del entorno urbano y natural. La arquitectura urbana sigue en el camino de crear proyectos de gran altura y densificar el desarrollo urbano. Las mega ciudades modernas, que se han convertido en rehenes del camino pasado de su desarrollo y de un enfoque ligeramente modificado, se están convirtiendo gradualmente en un problema multifactorial que amenaza la paz y la seguridad de los residentes. Una de las vías para solucionarlo la proporciona el concepto de arquitectura sostenible que se ha formado en la última década. Su aplicación por especialistas demuestra que la arquitectura del siglo XXI no solo puede maximizar el espacio cómodo y seguro para una persona, sino que además puede generar un impacto significativo en la restauración del equilibrio ecológico y asegurar una alta calidad de vida para las personas mediante la creación de un entorno arquitectónico que satisfaga las necesidades humanas y al mismo tiempo preserve o incluso mejore el estado de la naturaleza, donde tal entorno arquitectónico es sostenible.

## **2.Marco contextual**

En este capítulo contiene el análisis y la descripción del contexto del sitio dónde se realiza el proyecto, también contiene una breve explicación sobre el cannabis Sativa y sus cultivos.

El presente proyecto tiene un enfoque ambiental donde propone el estudio y análisis de un material elaborado a partir de los tallos de cannabis, para esto, se hace un análisis de las condiciones ambientales necesarias para que el cultivo del cannabis Sativa tenga un óptimo desarrollo.

Este capítulo está compuesto por tres partes: escala macro, meso y micro. En cada una de ellas se explica un tema determinado en un sector específico.

En la escala micro se hace un análisis de Colombia a nivel ambiental y se identifican los factores ambientales presentes en cada departamento donde hay licencia para el cultivo de cannabis con el fin de conocer las condiciones en las que se encuentra su cultivo en ese departamento y determinar si esas condiciones son similares a las que requieren las plantaciones de cannabis. En la escala meso se hace énfasis al departamento Norte de Santander que es donde se encuentra ubicado específicamente este proyecto. Se detallan sus condiciones ambientales y se describen los municipios donde hay presencia de cultivos de cannabis. Posteriormente, en la escala micro se localiza el municipio de Bochalema que es uno de los municipios con presencia de cultivos de cannabis y es el lugar objeto de estudio de este proyecto. Se describen sus condiciones ambientales y se explica el por qué es un lugar apto para la siembra de estas plantas.

Finalmente contiene un diagnóstico del contexto del proyecto y una DOFA dónde se identifican las deficiencias, oportunidades, fortalezas y amenazas que se encontraron en sector para determinar si los cultivos de cannabis son viables en el lugar.

## 2.1 Cultivos de cannabis Sativa

Para hablar de los factores ambientales que requiere la planta de cannabis Sativa para que sus cultivos sean efectivos, primero se hará una contextualización sobre el cannabis

### 2.1.1 ¿Qué es el cannabis Sativa?

Ulloa (2020), describe en el documento titulado “comercialización internacional de subproductos de cannabis Sativa”, la taxonomía del cannabis para dar a conocer las características y los aspectos de la planta.

La planta de cannabis (perteneciente a la familia cannabáceas) cuenta con una gran cantidad de variedades que reciben el nombre de cannabis Sativa y marihuana, entre estas variedades resaltan dos (2) que son las más conocidas comercialmente: el cannabis Savita (marihuana y cáñamo) y el cannabis Indica (marihuana). Esta planta tiene un gran aprovechamiento debido a que se utiliza el 100% de su planta (tallo, ramas, hoja, flor y semillas) para fines científicos, medicinales e industriales.

Las plantas de cannabis tienen presencia de una gran cantidad de cannabinoides (compuestos químicos) de los cuales los más conocidos son: Cannabidiol (CBD) y Tetrahidrocannabinol (THC). El CBD es un compuesto no psicoactivo que tiene usos generalmente industriales y el THC es un compuesto psicoactivo con usos mayormente recreativos y medicinales.

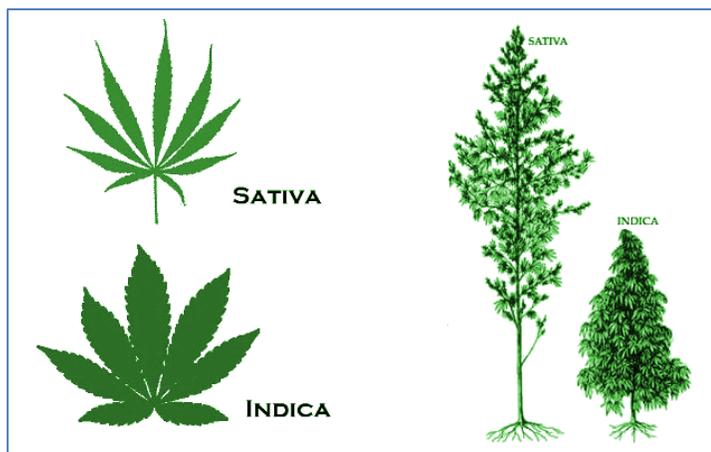
Lo que diferencia la marihuana y el cannabis medicinal es el contenido de THC (psicoactivo) y CBD (no psicoactivo). La planta de cannabis Sativa, también conocida como cáñamo contiene una baja cantidad de THC (menor al 0.3%) y de CBD; mientras la marihuana contiene niveles muy altos de THC y CBD. (Figura 2-1 y Figura 2-2).

**Figura 2- 1:** Características de las plantas de cannabis: cáñamo (Savita) y marihuana (Savita, Indica).

CARACTERÍSTICA	MARIHUANA	CÁÑAMO
THC	Niveles Muy Altos	Menor al 0.5%
EFFECTOS	Psicoactivo	No Psicoactivo
CICLO COMPLETO	70-90 días	110-130 días
APLICACIONES	Medicinales y Recreativos	Industria, textil, alimentación, biodiesel...
ESTRUCTURA	Densa y de media o baja altura (< de 3 metros)	Espigada y muy alta (+ de 3 metros)
LEGALIDAD	Illegal en la mayoría de países	Legal en muchos países

Fuente: <https://geaseeds.com/blog/diferencias-entre-el-canamo-y-la-marihuana/>

**Figura 2- 2:** Comparación entre las variedades Savita e Indica.



Fuente: <https://www.recoverydirect.co.za/drug/cannabis-addiction/>

Como se aprecia en la Figura 2-2, las plantas de la variedad Savita son más altas, con un solo tallo hueco, verdoso y sin extensiones y pocas ramas. Tiene un crecimiento de uno (1) hasta seis (6) metros de altura, en un periodo de 4 a 5 meses, esto hace que sea uno de los cultivos con más rápido crecimiento.

### 2.1.2 Condiciones ambientales para el cultivo de cannabis

Ufarte (2019), describe los fundamentos agro-económicos para el cultivo del cannabis, en este documento se pudo identificar las condiciones ambientales aptas para el buen desarrollo de los cultivos de cannabis Sativa.

Gracias al documento se pudo determinar que el cannabis es un cultivo que no tiene exigencias agronómicas muy elevadas, tiene la capacidad de adaptarse a temperaturas muy bajas o muy altas, y a múltiples rotaciones.

Aunque cuenta con unas variables ambientales adecuadas para un mejor desarrollo de la planta, las cuales se recomiendan para obtener un cultivo más óptimo y sin riesgo a contraer plagas.

- **Condiciones climáticas**

Clima templado, temperaturas entre los 13 y 25° (diurna de 18 a 25°, nocturna de 13 a 17°, para siembra una temperatura de 12 a 16°, en etapa de germinación temperaturas iguales o mayores a 25°). Pisos térmicos entre los 1000 a 2200 msnm, y con una humedad relativa entre el 40 y 80%, con periodos de luz de 18 horas en crecimiento y 12 horas en floración.

- **Condiciones del terreno**

Suelos profundos y poco compactados para que se pueda desarrollar bien las raíces de la planta, y que permita exploración para la captación de agua y nutrientes. Ricos en nutrientes, con un pH óptimo de 6 a 7 (suelos moderadamente ácidos o neutros) que permiten una mejor absorción de nutrientes por parte de las plantas. Suelos con texturas no arcillosas, se recomiendan texturas franco-arenosa, franco-arcillosa o arcillosa arenosa.

### **2.1.3 Ventajas ecológicas de los cultivos de cannabis**

Romero (2010), hace un estudio ecofisiológico sobre el cannabis Sativa o cáñamo, según lo descrito por el autor, el cáñamo es una planta que no requiere el uso de pesticidas ni herbicidas, mejora la estructura del suelo y tiene un alto rendimiento. También especifica los beneficios ecológicos y agrícolas que se presencian con los cultivos de cannabis Sativa. Los cuales son:

- El cáñamo es una planta ahogadora de malas hierbas
- Debido a su raíz pivotante, puede absorber gran cantidad de contaminantes del suelo dejándolo limpio y sano sin afectar su propio desarrollo
- Es una planta que no requiere muchos cuidados
- Tiene una elevada tolerancia a plagas y enfermedades
- Es un buen sustituto para los árboles

- Sustituto biodegradable para el plástico
- Produce entre 1 y 1.5 toneladas de semilla por hectárea, lo cual puede combatir el hambre debido a las propiedades nutritivas de esta semilla
- El cáñamo es resistente al incremento de radiaciones ultravioleta.

Con lo anterior se puede determinar que además de las ventajas ambientales que traen los cultivos de cannabis Sativa al ambiente, también existen beneficios agrícolas, sociales y económicos. La implementación del cultivo de cannabis Sativa en el país es una gran oportunidad para desarrollar nuevos productos ecológicos que reemplacen aquellos productos que son fabricados sin responsabilidad ambiental y que generan deterioro en el ambiente.

## **2.2 Análisis macro – Colombia**

### **2.2.1 Factores ambientales**

Colombia se encuentra ubicado hacia el noroeste del continente suramericano y limita con dos océanos que presentan condiciones climáticas totalmente diferentes, el océano Atlántico (norte) y el océano Pacífico (occidente); en el oriente limita con los llanos del Orinoco y en el sur con las selvas del Amazonas y las sierras Andinas. Estos límites naturales influyen considerablemente sobre el país, determinando sus aspectos ambientales. (Gulh, 2016, p. 217).

Debido a su localización, Colombia cuenta con diversos climas que permiten desarrollar cultivos durante todo el año, también posee suelos y pisos térmicos aptos para grandes cultivos, luz solar de hasta doce horas al día casi todos los días del año y una gran fuente de recursos hídricos, lo que lo hace un país con vocación agrícola y con gran potencial para desarrollar cultivos de cannabis Sativa.

Sánchez (2013) en el III Seminario de Actualización en Ingeniería Ambiental Titulado “Gestión del Recurso Hídrico en Colombia”, afirma que Colombia cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos, lo que lo hace uno de los países con mayor existencia de fuentes de agua en el mundo, debido a su ubicación geográfica y las condiciones fisiográficas del territorio Colombia presenta un nivel de abundancia hídrica relevante mayor al nivel promedio mundial.

Los aspectos ambientales en Colombia lo convierten en un país apto para el desarrollo de grandes cultivos totalmente naturales, por lo que no hay necesidad de crear ambientes artificiales como se hace en muchos países de Europa y de Norteamérica para poder cultivar una planta.

### 2.2.2 Cultivo de cannabis

Desde el 2017 mediante el decreto 613 de 2017 que reglamenta la Ley 1787 de 2016 en relación con el acceso seguro e informado de los cultivos de cannabis, el cultivo de cannabis es legal en Colombia. (Ministerio de Justicia y del Derecho, 2017).

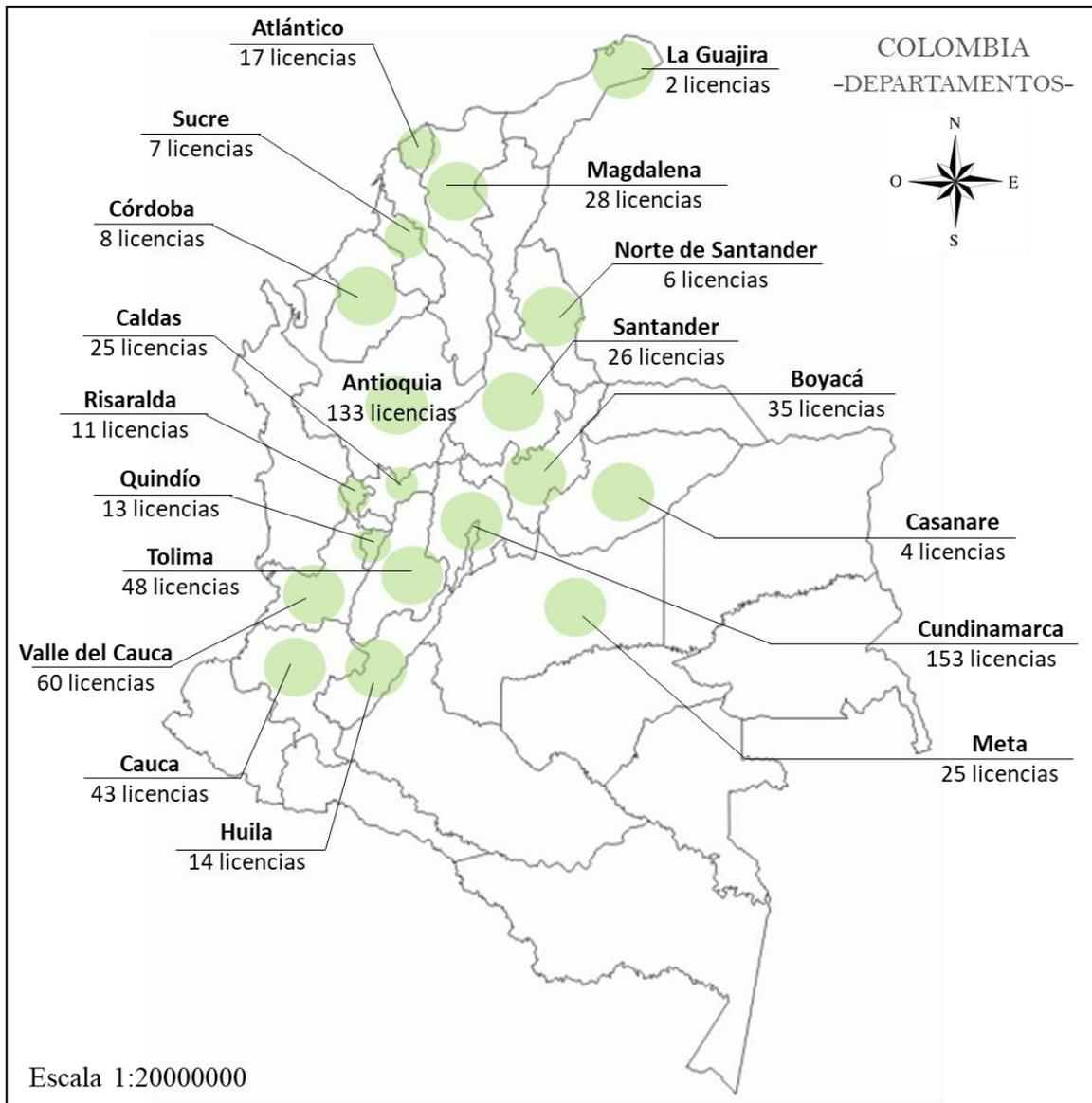
Para tener derecho a sembrar estos cultivos se debe expedir una licencia ante el ministerio de Justicia y del Derecho, especificando que tipo de cannabis se va a sembrar (psicoactivo o no psicoactivo) y cumpliendo una serie de requisitos necesarios que solicita el ministerio para poder controlar todos los cultivos de esta planta existentes en el país. Actualmente en Colombia hay presencia de cultivos de cannabis en los siguientes departamentos: (Gráfico 2-1) (Figura 2-3).

**Gráfico 2- 1:** Lista de los departamentos con presencia de cultivos de cannabis en Colombia.

DEPARTAMENTO	LICENCIAS	DEPARTAMENTO	LICENCIAS
Valle del Cauca	60	Casanare	4
Tolima	48	La Guajira	2
Antioquia	133	Caldas	25
Meta	25	Quindío	13
Santander	26	Córdoba	8
Magdalena	28	Risaralda	11
Cauca	43	Sucre	7
Boyacá	35	Atlántico	17
Cundinamarca	153	Norte de Santander	6
Huila	14	<b>Total de licencias</b>	<b>658</b>

Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos del Ministerio de Justicia y del Derecho.

**Figura 2- 3:** Mapa de localización de cultivos de cannabis existentes en Colombia.



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos del Ministerio de Justicia y del Derecho.

Hoy en día en Colombia existen 19 departamentos que presentan cultivos legales de cannabis según el Ministerio de Justicia y del Derecho. Con base a la Figura 2-3 se puede determinar que, en su mayoría, los cultivos de cannabis se localizan al occidente y al norte del país; y que al sur del país no hay existencia de este cultivo.

Entre los departamentos con cultivos significativos se encuentra Cundinamarca con 153 licencias y Antioquia con 133 licencias, seguidos por Valle del Cauca con 60 licencias,

Cauca con 43 licencias, Tolima con 48 licencias y Boyacá con 48 licencias para el cultivo de cannabis medicinal.

### **2.2.3 Problemas ambientales**

La contaminación atmosférica y de las fuentes hídricas, la deforestación y la gran generación de residuos, son problemas ambientales con los que día a día debe combatir el país. La industria de la construcción es una de las industrias que más hace peso a esta problemática creando fuentes de contaminación en la realización de sus actividades que deterioran los recursos naturales y desgastan los ecosistemas. Los problemas ambientales que sufre actualmente Colombia son:

- **Contaminación atmosférica**

En una encuesta realizada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), la evaluación de la Política de prevención y control de la contaminación del aire determinó que aproximadamente el 51% de la población del país señala que el mayor problema ambiental del país es la contaminación del aire, siendo la industria de la construcción la productora de mayores aportes a la contaminación atmosférica. Según cifras de la Organización Mundial de la Salud, la contaminación atmosférica es la responsable de aproximadamente el 12.,5% de las muertes ocurridas a nivel mundial, es ocasionada por la contaminación del aire. A nivel nacional, el DNP estimó que durante el año 2015 los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades. (DNP 2018).

- **Contaminación de las aguas**

El Banco Mundial declaró en un informe que tituló “Colombia, un cambio sin rumbo”, que el país está sufriendo un deterioro en la calidad del recurso hídrico, lo que actualmente daña los ecosistemas y posteriormente lleva a la escasez y a la poca disponibilidad de este recurso. Según el último estudio nacional del agua realizado por el IDEAM (ENA 2018), a nivel nacional, el sector industrial es el mayor aportante de carga orgánica neta que se vierte a las corrientes hídricas, contaminándolas y creando focos de contaminación que generan problemas ambientales como sequías extremas y fuertes inundaciones que a su vez llevan problemas sociales como pobreza, desigualdad y desplazamientos forzosos.

### ▪ Deforestación

Según el informe del estado “del medio ambiente y de los recursos naturales renovables” (IDEAM 2015), la deforestación es uno de los cambios de cobertura que más altera el hábitat natural, los cultivos, la minería y la tala de árboles en áreas protegidas y zonas de reserva impactan sobre la biodiversidad y deterioran los ecosistemas.

En Colombia, actualmente el bosque representa el 52% del territorio con 59.558.064 hectáreas, ubicadas en su mayoría en la selva Amazónica (40.000.000 ha) que también es la que más presenta deforestación en su superficie. En 2015 la deforestación se presentó en 124.035 hectáreas.

La cifra más alta de deforestación que ha tenido el país fue en 2017 donde según cifras del IDEAM el país reporta pérdidas de aproximadamente 220.000 hectáreas. Aunque en los dos años siguiente se presenció una disminución en la cifra de deforestación, pues en el 2019 hubo una disminución del 28% (158.894 ha), para el 2020 se presenció una deforestación en 171.685 hectáreas del país, un incremento del 8% con base a la cifra presentada en el 2019. La mayor presencia de deforestación del país se concentra en los departamentos de Meta, Caquetá, Guaviare, Putumayo y Antioquia. (Luque, 2021).

Las determinantes que causan la deforestación en el país son principalmente la expansión de los cultivos ilícitos, la expansión agroindustrial, la extracción de materia prima y la tala de árboles.

Estos problemas ambientales desgastan el territorio colombiano, ya que Deterioran lo recursos naturales y crean focos de contaminación que dañan lo ecosistemas y crean problemas de salud a los habitantes, además de los problemas económicos que también se generan con esta problemática.

Por esta razón, es importante contribuir con la disminución de la contaminación y con el mejoramiento del ambiente del país. Debido a que la construcción con métodos convencionales es una de las fuentes más contaminantes del ambiente, se deben buscar alternativas que den solución a esta problemática.

Como se mencionó anteriormente, la implementación del cultivo del cannabis Sativa presenta grandes beneficios ambientales, sociales y económicos al país, debido a que, en todo su proceso, el cannabis Sativa es un material responsable con el medio ambiente. Si

se implementa este cultivo, se puede lograr la disminución de la deforestación, menos producción de CO<sub>2</sub>, protección de lo suelo y menos generación de residuos. Además de los beneficios que se pueden obtener de su implementación como material constructivo como más absorción de CO<sub>2</sub> existente en el aire y más residuos reutilizables.

## 2.3 Análisis meso – Norte de Santander

En esta escala se hace un análisis del departamento Norte de Santander para conocer los factores ambientales y cómo se encuentran localizados los cultivos de cannabis Sativa en este departamento.

### 2.3.1 Factores ambientales

Norte de Santander está conformado por 40 municipios, 1.620.318 habitantes y cuenta con una extensión territorial de 21.658 km<sup>2</sup> (TerriData 2020).

**Hidrografía;** el departamento Norte de Santander cuenta con tres cuencas hidrográficas: la del Magdalena, Catatumbo y la del Orinoco. En el departamento se encuentran 21 ríos entre los cuales se destacan el Pamplonita, el Catatumbo, el Peralonso, el Táchira y el Zulia. (Atlas geográfico, 2015).

**Clima;** las temperaturas existentes en el departamento van desde los 10°C hasta los 35°C. por las características del relieve el departamento cuenta con pisos térmicos cálidos, templado y frío. (Atlas geográfico, 2015).

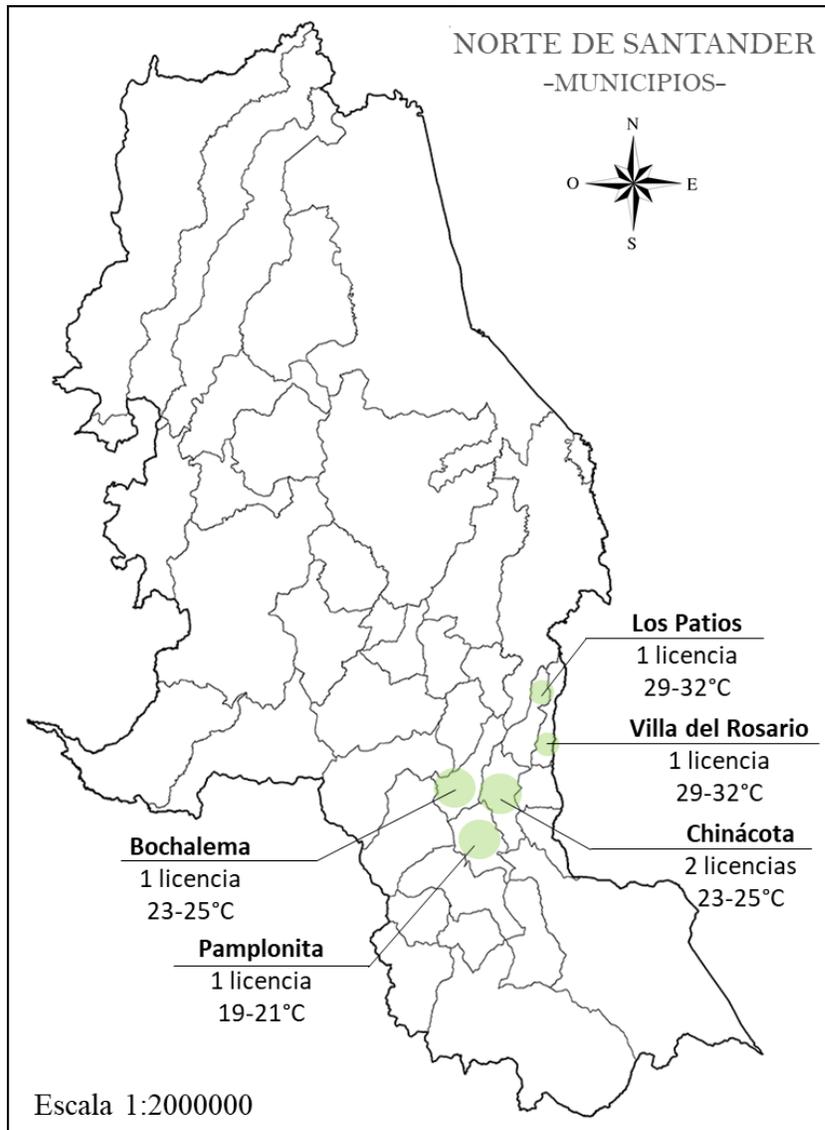
**Problemática ambiental;** el departamento es afectado por una fuerte deforestación de bosques nativos debido a la exploración y explotación de petróleo en su mayoría en el sector del río Catatumbo. El río Pamplonita también sufre problemas de contaminación debido al depósito excesivo de residuos sólidos y de aguas negra por la mal planificación de las redes de alcantarillado en el departamento. (Atlas geográfico, 2015).

### 2.3.2 Cultivo de cannabis Sativa

Actualmente el departamento Norte de Santander es el tercer departamento con el número más bajo de cultivos lícitos de cannabis medicinal después de la Guajira que solo cuenta

con dos cultivos y del Casanare que cuenta con cuatro. En Norte de Santander existen seis cultivos lícitos de cannabis medicinal registrados ante el Ministerio de Justicia y de Derecho, estos cultivos están repartidos de la siguiente manera: en Villa del Rosario (1), Los Patios (1), Pamplonita (1), Chinácota (2) y Bochalema (1). (Figura 2-4).

**Figura 2- 4:** Cultivos de cannabis presentes en el departamento Norte de Santander.



Fuente: Elaboración propia con base a datos obtenidos del Ministerio de Justicia y del Derecho.

Cómo se muestra en Figura 2-4, las temperaturas presentadas en estos municipios son las necesarias para el cultivo de cannabis, van desde los 18 hasta los 25°C, lo que logra un clima apto para un óptimo desarrollo de estos cultivos. Cuando hay alza en la

temperatura promedio necesaria para el cultivo de cannabis, se puede manejar mediante una buena ventilación en los cultivos.

## **2.4 Análisis micro – Bochalema**

### **2.4.1 Factores ambientales**

En el EOT Bochalema (2002) se encuentran enmarcados los factores ambientales y físicos del municipio de Bochalema. En este documento se describe lo siguiente:

Bochalema es un municipio ubicado en el departamento Norte de Santander, su territorio municipal está conformado por la cabecera municipal que cuenta con 60 Ha., el Centro Poblado La Donjuana que cuenta con 37 Ha. y 24 veredas consideradas como las unidades básicas territoriales a nivel rural. En su acceso, el municipio cuenta con un ramal que tiene una longitud de 3.5 kilómetros, que se separa de la Carretera Central Cúcuta-Pamplona, aproximadamente sobre el kilómetro 40 (al sur de la ciudad de Cúcuta). La red hidrográfica de Bochalema forma parte de la Gran Cuenca del río Catatumbo. El 86.65% del territorio municipal, pertenece al río Pamplonita y el territorio restante pertenece a la cuenca del río Zulia. De la cuenca del río Pamplonita se desprende la quebrada Aguablanca que es el recurso hídrico más importante de la cabecera municipal, ya que abastece su acueducto.

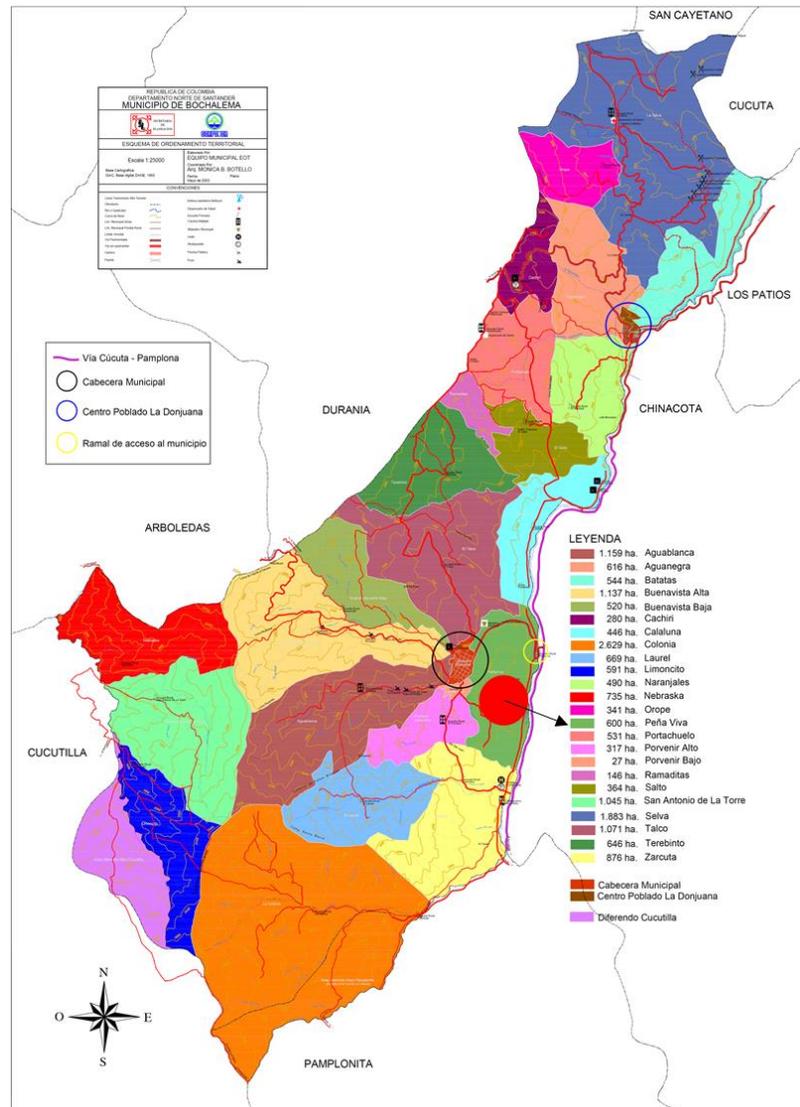
Estas características ambientales hacen del municipio de Bochalema un gran potencial para la siembra de cultivos de cannabis medicinal, el clima presente el Bochalema es uno de los climas que se considera los más aptos para cultivos de cannabis, debido a que se presentan temperaturas templadas entre los 18 y los 25°C, que como se mencionó anteriormente, son las temperaturas adecuadas para un buen desarrollo de estos cultivos; la buena disponibilidad de agua en el sector también es un punto a favor para los cultivos.

### **2.4.2 Cultivo de cannabis**

El cultivo de cannabis medicinal existente en el municipio de Bochalema Norte de Santander se encuentra localizado en el área rural de este municipio en la vereda Peña

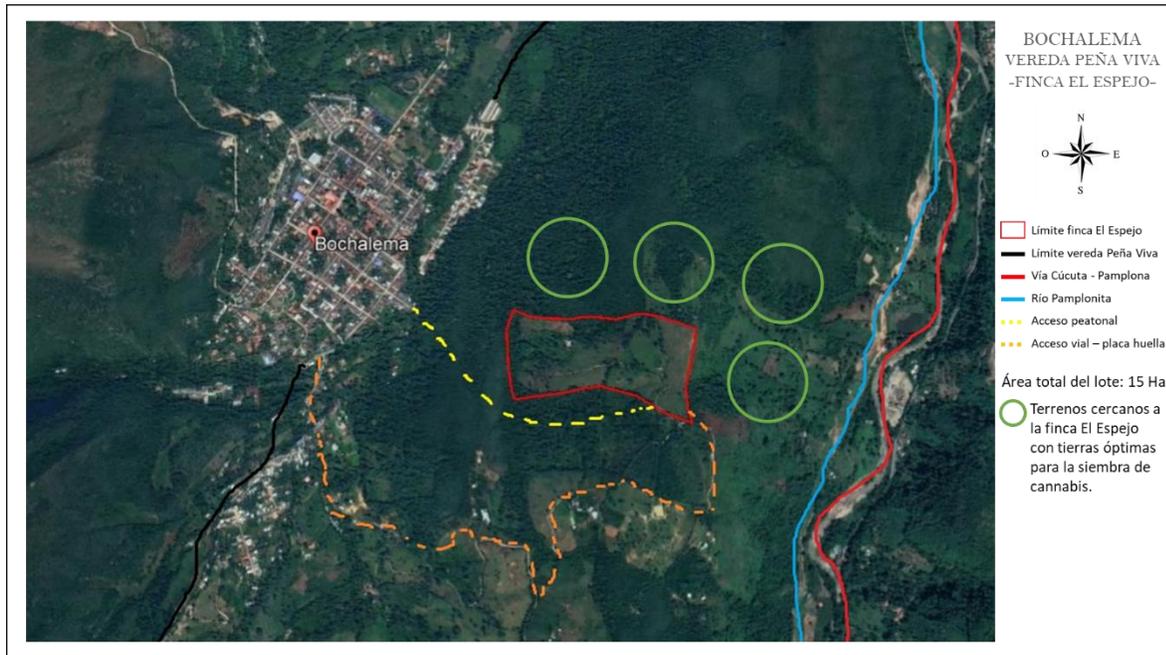
Viva. Estos cultivos son realizados por la empresa Colombian Kif SAS establecida en Pamplona. (Figura 2-5).

**Figura 2- 5:** División política de Bochalema, localización de la vereda Peña Viva.



Fuente: EOT Bochalema 2002.

La vereda Peña Viva cuenta con una extensión de 600 hectáreas (EOT Bochalema 2002) y se encuentra al este de la cabecera municipal del municipio. Dentro de esta vereda se encuentra la finca el Espejo, donde se ubican exactamente los cultivos de cannabis. La finca cuenta con una extensión de 15 hectáreas, de las cuales la empresa actualmente está utilizando 1 hectárea para el desarrollo de estos cultivos. (Figura 2-6).

**Figura 2- 6:** Localización de la finca el Espejo en Bochalema Norte de Santander.

Fuente: Imagen obtenida de Google Earth Pro.

El acceso a la finca está compuesto por dos vías, la vía principal que es la más larga y cuenta con una placa huella que permite tránsito peatonal y vehicular; la vía secundaria es un camino peatonal, es más corto el trayecto, pero presenta una inclinación del terreno muy pronunciada debido a que no rodea la montaña como la vía principal, sino que la atraviesa.

La finca El Espejo cuenta con una buena cantidad de agua, que es almacenada en un reservorio y en tanques ubicados cerca de los cultivos. La temperatura en la finca varía, en las mañanas se tienen temperaturas entre 22 – 25°C, a medio día se presenta un alza en la temperatura ya que se aumenta a 30 – 33°C, esto es controlado mediante sistemas de ventilación ubicados dentro de los invernaderos, en las tardes temperaturas entre 22 – 25°C y en las noches temperaturas entre 18– 22°C.

La zona rural de Bochalema en su totalidad cuenta con terrenos aptos para el cultivo de cannabis. Aunque el cultivo existente actualmente en el municipio se encuentre en la finca el espejo, existen otras fincas con tierras disponibles para la siembra. La empresa encargada de los cultivos de cannabis está intentando conseguir otras fincas cercanas a la finca El Espejo para sembrar más cultivos de cannabis.

### 2.4.3 Empresa de cultivos de cannabis en Bochalema

La empresa Colombian Kif es una empresa colombiana ubicada en el departamento Norte de Santander, su planta de producción se encuentra ubicada en Bochalema y su oficina en Pamplona. Esta empresa se dedica a cultivar cannabis medicinal, con una licencia otorgada por el Ministerio de Justicia y del Derecho en el año 2020.

Iniciaron con una siembra de 1.000 m<sup>2</sup> lo que equivale a 2.600 plantas, para este año ya cuentan con una siembra de 6.000 m<sup>2</sup> lo que equivale a 15.000 plantas. La empresa se dedica a la obtención de la flor para convertirla en aceite y finalmente comercializarla.

Como se mencionó anteriormente, el fin comercial de la empresa es la obtención de flor, por lo que lo sobrante de la planta pasa por un proceso de compostaje, es decir, no tiene ningún fin o uso. Es por esto que, el propósito de este trabajo es buscar la forma de aprovechar estos sobrantes para producir materiales que puedan ser usados en el sector de la construcción.

**Figura 2- 7:** Planta de producción de la empresa



Fuente: Imagen tomada en la empresa.

**Figura 2- 8:** Cultivos de cannabis medicinal



Fuente: Imagen tomada en la empresa.

- **Materia prima**

Como se ha dicho, la materia prima de interés para la empresa es la flor. Pero en este trabajo la materia prima de interés es la fibra existente en los tallos, por esto se hace un breve análisis de la materia prima que podría obtenerse aproximadamente de un cultivo de 1000 m<sup>2</sup>, es decir 2.600 plantas de cannabis Sativa.

Una planta de cannabis produce de materia prima 70 gramos de tallos y ramas utilizables, esto equivale a 182.000 gramos de materia prima por un cultivo de 1000 m<sup>2</sup> de cannabis (cultivos dedicados a la extracción de flor), lo cual significa que cada empresa en Colombia dedicada a la obtención de flor produce y desecha aproximadamente 182 kg de materia prima por cada 1.000 m<sup>2</sup> sembrados, que puede ser utilizada por la industria de la construcción.

## **2.5 Cultivo de cannabis en Colombia como un gran potencial económico y social**

Luis Velasco senador de la república, señala en el proyecto de ley 414 de 2021 (el cual modifica la ley 1787 de 2016) que Colombia se proyecta como una potencia para el cultivo de cannabis debido a sus condiciones geográficas, una ubicación privilegiada en el trópico lo convierte en uno de los países latinoamericanos con mayor y mejor desarrollo de estos cultivos.

Colombia presenta ventajas comparativas frente a otros países en la producción del cultivo de cannabis Sativa, pues gracias a su excelente ubicación estos cultivos pueden desarrollarse a costos más bajos que en otros países que tienen la necesidad de crear artificialmente el entorno óptimo para el buen desarrollo de esta planta. Por este motivo, las plantas cultivadas y cosechadas en un entorno natural son de mejor calidad y por ende son más llamativas en el mercado (tienen mejor demanda). (Proyecto Ley 414 de 2021).

Conviene destacar a Colombia como un gran país productivo de cannabis Sativa, que tiene ventajas ante otros países debido a los factores ambientales derivados de su buena localización. Mientras en otros países se ve la necesidad de crear ambientes artificiales para desarrollar esta planta debido a que solo se puede sembrar naturalmente en una

estación del año (verano) en Colombia se puede sembrar los doce meses del año gracias a que en todos los meses su clima se mantiene y no varía de una forma considerable lo cual mantiene las plantas y no las perjudica.

En cuanto al factor económico, cabe señalar que, gracias a su buena localización, Colombia no tiene la necesidad de crear ambientes artificiales lo que genera un gran ahorro económico ya que se hace innecesario el uso de tecnologías para simular climas y la construcción de grandes infraestructuras, lo que además permite un ahorro energético y es beneficioso para el medio ambiente.

Velasco (2021), citado anteriormente, afirma que, en estados Unidos, el cultivo de cannabis Sativa ya cuenta con una regulación adecuada, por esta razón, este cultivo ya es una fuente de desarrollo agroindustrial y un potencial económico muy significativo. Es este país el cultivo de cannabis Sativa tuvo un crecimiento abismal en tan solo un año, en 2018 contaba con 10.926 hectáreas y para el 2019 ya tenía 51.799 hectáreas sembradas, es decir en un año las hectáreas de tierra sembradas aumentaron en un 370% aproximadamente, esto generó un aumento significativo en materia de empleo, dado que en 2018 se crearon 64.000 nuevos empleos gracias a esta industria y que para el año 2019 ya se contaba con aproximadamente 296.000 empleos.

Actualmente en Estados Unidos el cultivo de cannabis Sativa es una gran fuente de desarrollo debido al ágil manejo que ha tenido este país para implementar estos cultivos como un gran potencial económico y social, y a la rápida regulación como cultivo legal en el país.

Colombia puede llegar a ser un gran líder a nivel internacional en la producción de estos cultivos, debido a sus privilegiadas condiciones ambientales. Sin embargo, aunque tiene una gran ventaja ambiental en la producción del cannabis Sativa, Colombia presenta un atraso significativo debido a la poca agilización en la documentación al momento de solicitar una licencia para poder llevar a cabo este cultivo legal y controlado por el Ministerio de Justicia y del Derecho.

Ciertamente se podría contemplar el cultivo del cannabis Sativa en Colombia como un gran potencial de desarrollo económico y social en el país, teniendo en cuenta que, en otros países que no cuentan con las condiciones ambientales de Colombia, este cultivo ya es una fuente de desarrollo que genera crecimiento económico y crea nuevos empleos, por

consiguiente, se podría especular sobre los grandes beneficios económicos y sociales que estos cultivos traerían al país. (Figura 2-7).

**Tabla 2- 1:** Potencial en la generación de empleos por la industria de cannabis en Colombia.

Año	2020	2025	2030
Hectáreas cultivadas	45	449	1558
Empleos Agrícolas	784	7772	26968

Fuente: Fedesarrollo

En la imagen anterior se muestra las hectáreas cultivadas y la cantidad de empleos generados para el año 2020, y una estimación de lo que se espera lograr con los cultivos de cannabis Sativa en Colombia para los años 2025 y 2030.

Para el año 2020 en Colombia había 45 hectáreas cultivadas y se generaron 184 nuevos empleos. Para el año 2025 se estima un aumento aproximadamente del 900% teniendo en cuenta las cifras del año 2020, es decir que para el 2025 se estima una cantidad de 449 hectáreas cultivadas y una generación de 7.722 nuevos empleos. Para el año 2030 se estima un aumento de aproximadamente un 230% teniendo en cuenta el año 2025, es decir que para el año 2030 se espera una cantidad de 1.558 hectáreas cultivadas y una generación de 26.968 nuevos empleos. (Fedesarrollo, 2019).

Para lograr las cifras proyectadas por Fedesarrollo (2019), es necesario que se regule el cultivo y el uso industrial del cannabis Sativa. Con esto, Colombia podría llegar a ser un líder y un gran competidor en la industria del cannabis a nivel mundial, incentivando e impulsando la economía del país y combatiendo la pobreza con la generación de miles de nuevos empleos, aprovechando la gran cantidad de mano de obra existente y activando considerablemente la economía del sector rural en el país.

## 2.6 Síntesis

En este capítulo, en primer lugar, se hizo un análisis sobre la planta de cannabis Sativa, se analizó la diferencia entre la comúnmente conocida como marihuana y el cannabis

Sativa. Gracias a esto se pudo establecer que el cannabis Sativa es una planta con muy pocas cantidades (menos del 0.5%) de THC (compuesto psicoactivo).

También se identificaron las condiciones ambientales adecuadas para el óptimo desarrollo del cultivo de cannabis Sativa, entre las cuales se identifican las condiciones climáticas y las condiciones del suelo. Se pudo establecer que el clima apto para producir estos cultivos es un clima templado con temperaturas entre 13 y 25°C; y que el suelo debe ser profundo y poco compactado para permitir un buen desarrollo de las raíces con el fin de que estas puedan adentrarse en él y absorber al máximo los nutrientes y el agua existente en el mismo.

Otro aspecto importante abordado en este capítulo fue el impacto positivo que trae al ambiente el cultivo de cannabis Sativa, debido que además de ser un cultivo que se adapta fácil a cualquier territorio, el cannabis también trae ventajas ecológicas como la protección a los suelos debido a su particularidad de absorber contaminantes, la posibilidad de sustituir bosques de madera para proteger los árboles plantados y disminuir la deforestación y su elevada tolerancia a las plagas. A causa de esto, se pudo determinar que la implementación del cultivo de cannabis Sativa es una gran oportunidad para desarrollar nuevos productos ecológicos que reemplacen aquellos que son fabricados sin responsabilidad ambiental y que generan deterioro del ambiente.

Sumado a lo anterior, se hizo una contextualización del territorio dónde se plantea este proyecto, es decir el lugar objeto de estudio. En este caso, se identifica al país colombiano como el territorio general, seguido por el departamento Norte de Santander como el territorio específico y finalmente se detalla el municipio de Bochalema, ya que es el lugar donde actualmente se encuentran los cultivos de cannabis tenidos en cuenta para el desarrollo de esta investigación. Teniendo en cuenta esto, se tomaron los tres sectores mencionados anteriormente y se ubicaron en tres escalas diferentes: se ubicó a Colombia en una escala macro, a Norte de Santander en una escala meso y a Bochalema en una escala micro.

En el análisis sobre Colombia, se pudo identificar que este país presenta una gran gama de propiedades óptimas para el buen desarrollo de las plantas de cannabis Sativa, ya que Colombia es un país con un clima templado que no presenta mayores cambios en sus temperaturas durante todo el año, cuenta con una enorme cantidad de fuentes hídricas y

suelos aptos para el cultivo, esto hace de Colombia un país con vocación agrícola. Esta vocación puede ser un punto de impulso económico y social para el país si se aprovechan los recursos que da el territorio para lograr cultivos ecológicos y de buena calidad.

Actualmente en Colombia existen 658 cultivos legales de cannabis repartidos en 19 departamentos del país. Entre estos departamentos se encuentra Norte de Santander con una cantidad de 6 cultivos legales y registrados repartidos en 5 municipios, es decir, Norte de Santander tiene una participación del 0.9% del total de cultivos existentes en el país.

Bochalema hace parte de los municipios con presencia de cultivos de cánnabis en el departamento, en el área rural de este municipio se encuentra ubicado un cultivo que es propiedad de la empresa Colombian Kif SAS establecida en la ciudad de Pamplona. El cultivo de cannabis presente en Bochalema se encuentra localizado específicamente en la finca El Espejo ubicada en la vereda Peña Viva. El municipio de Bochalema presenta un clima templado que normalmente oscila entre 18 y 25°C, lo que lo hace un sector apto para el desarrollo de la planta de cannabis.

Finalmente, y para cerrar este capítulo, se destaca la importancia que tiene cultivo del cannabis Sativa en el país para el desarrollo y crecimiento del factor económico y social. Para generar un impulso económico en el país es importante la generación de empleos para que toda la mano de obra existente se encuentre ocupada y cada habitante pueda contar con un trabajo digno, por esto es importante tener en cuenta la generación de nuevos empleos cómo base para un desarrollo económico y social.

El cultivo de cannabis en Colombia es una gran fuente de desarrollo económico y social, es el camino a seguir para combatir el desempleo y los niveles de pobreza, y también los niveles de contaminación en el medio ambiente. Para poder aprovechar al máximo los beneficios derivados del cultivo del cannabis Sativa, es necesario que Colombia agilice la más pronto posible la aprobación de las solicitudes de licencias para que todos los pequeños y medianos cultivadores del país puedan empezar a producir este cultivo. Esto lograría que Colombia fuera una de los líderes de producción de cannabis Sativa en Latinoamérica.

Por lo tanto, el cannabis tiene un enorme potencial de producción y consumo. Dado que es un recurso renovable anual, su valor para la economía no tiene precio. Esto lo entienden

bien las autoridades y los representantes de la agroindustria tanto de los estados económicamente fuertes como de los países en desarrollo. Se espera que en un futuro cercano la semilla de cannabis ocupe una posición de liderazgo entre los cultivos industriales en todo el mundo.

### 2.6.1 Cultivo de cannabis Sativa en Colombia (DOFA)

**Gráfico 2- 2:** Matriz DOFA sobre el cultivo y uso del cannabis Sativa en Colombia.

DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
<b>FACTOR AMBIENTAL.</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>El poco interés por el desarrollo de nuevos materiales hace que se deje en el olvido la oportunidad de crear materiales con un proceso responsable con el medio ambiente.</li> <li>Usar nuevos materiales en Colombia resulta ser más costoso que la construcción con materiales convencionales, esto genera un problema a la hora de querer innovar y construir con materiales sostenibles.</li> <li>Aún hay poco conocimiento de cómo es el proceso de cultivo de las plantaciones de cáñamo, debido a que es un tema muy nuevo en el país.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El cultivo de cannabis cuenta con cualidades ecológicas y agrícolas que logran el mejoramiento del medio ambiente en el país.</li> <li>El cultivo de cannabis limpia los suelos debido a la gran capacidad que tiene de absorber contaminantes sin afectar su propio desarrollo.</li> <li>El cannabis es un gran sustituto de los árboles debido a que tiene una producción cuatro veces mayor que un bosque de madera, lo que permite la disminución de la deforestación.</li> <li>La planta de cannabis tiene gran capacidad de absorción de CO2.</li> <li>El gobierno de Colombia está abriendo las puertas a nuevas oportunidades para los cultivos de cáñamo industrial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a su localización Colombia cuenta con las características climáticas, hídricas y térmicas óptimas para un buen desarrollo de las plantas de cannabis.</li> <li>Las condiciones ambientales del territorio lo hacen un país con vocación agrícola.</li> <li>El cannabis usado como material constructivo es un material responsable con el ambiente ya que en todo su proceso (extracción, fabricación, uso, operación y final de su vida útil), tiene como prioridad la protección del ambiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El poco conocimiento sobre los beneficios ambientales de la planta de cannabis puede generar problemas, debido a que aún para muchas personas estos cultivos son ilegales y destructivos.</li> </ul>
<b>FACTOR SOCIAL.</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>El cannabis es conocido en el país como una planta destructiva que solo genera efectos negativos a las personas que la trabajan o consumen, esto genera problemas entre las personas que se cierran en el pasado negativo y entre las personas que se abren a conocer más sobre esta planta utilizada de una forma positiva y cultivada legalmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Un cambio en las construcciones futuras que disminuya y no cree más focos de contaminación que altere la salud de las personas.</li> <li>Con las construcciones sostenibles se puede lograr la disminución de las enfermedades cardiovasculares y respiratorias derivadas por la contaminación atmosférica y la generación de desechos.</li> <li>Si se implementan materiales sostenibles en la construcciones y se logra disminuir la contaminación causada por esta industria, se puede lograr la disminución de los desplazamientos forzados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construcciones con un material ecológico y responsable con el medio ambiente y con las personas que lo habitan.</li> <li>Debido a la vocación agrícola del país, la mayoría de los habitantes están habilitados para desarrollar esta actividad.</li> <li>Mejoramiento en la calidad de vida para los habitantes de los sectores rurales de país.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El cultivo de cannabis es un cultivo que tiene una historia negativa en el país debido a los cultivos ilícitos usados para fines recreativos con sustancias psicoactivas, por este motivo este cultivo puede generar desacuerdos sociales por falta de conocimiento sobre esta planta.</li> </ul>
<b>FACTOR ECONÓMICO.</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Al ser un cultivo nuevo en el país, se requiere de profesionales que conozcan sobre el cannabis y puedan compartir su conocimiento, aunque actualmente sale muy costoso contratar este personal debido a la escasez de personas con eso conocimiento.</li> <li>Algunos implementos necesarios para el desarrollo del cultivo de cannabis no se encuentran disponibles en el país y deben ser comprados en otros países lo que genera un aumento en el presupuesto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El cultivo de cannabis genera empleo para las personas de cada región, al ser un cultivo totalmente ecológico, las empresas también buscan contratar a personas que sean naturales de la región donde se realizan los cultivos.</li> <li>Impulso económico para el sector rural</li> <li>Oportunidad de desarrollar un material que genere cambios ambientales y además ingresos para el país.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si se logra la introducción legal de este material en el mercado y se normaliza su producción, el cáñamo se podrá obtener a un precio más económico y viable para lograr construcciones ecológicas y asequibles para toda la población.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La implementación del cultivo de cannabis puede generar muchos beneficios económicos y por esta razón se puede llegar a la disminución de otros cultivos que también son de gran importancia en el país.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia con base en este documento.

### **3. Marco proyectual**

En este capítulo se plantea y se desarrolla la lógica proyectual de la investigación, es decir, se hace un acercamiento al proyecto encaminándolo hacia algo un poco más tangible, con el fin de generar ideas más claras sobre lo que se propone y precisar su viabilidad.

Con el fin de lograr un mejor entendimiento, este capítulo se divide en dos partes, la primera parte compuesta por el título 3.1 y la segunda compuesta por el título 3.2, 3.3 y 3.4. La parte uno, es descriptiva y cuenta con una alta cantidad de investigación, mientras que la dos es mayormente experimental.

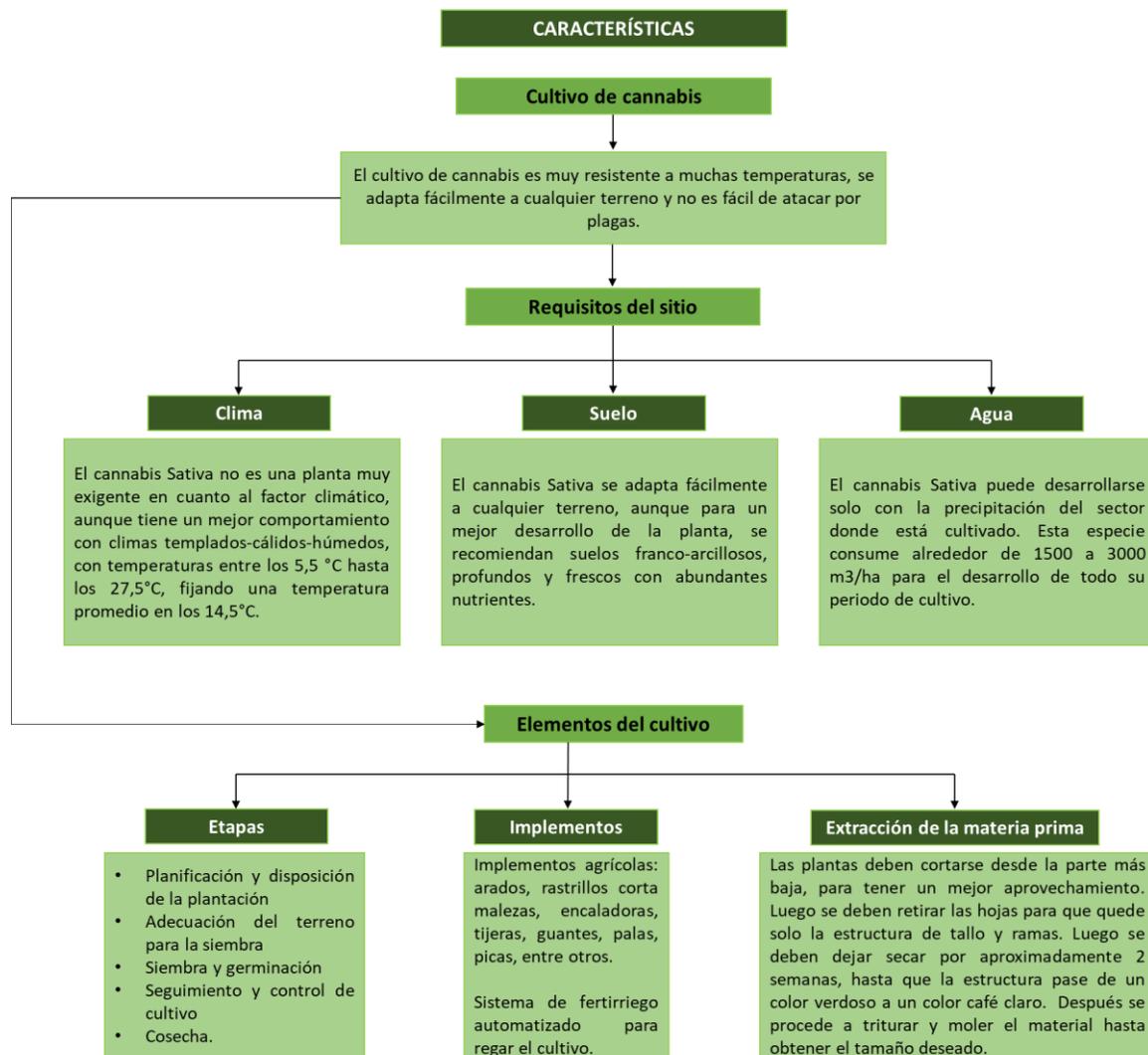
Inicialmente, en la parte descriptiva se exponen las características necesarias para lograr un óptimo desarrollo en los cultivos de cannabis. Estas características engloban los factores ambientales esenciales y los elementos necesarios para lograr el desarrollo de un buen cultivo. También se mencionan elementos e implementos importantes a tener en cuenta al momento de sembrar la planta de cannabis. Seguidamente se hace un estudio de costos de cultivos de cannabis en el sector relacionado en este trabajo que en este caso sería el municipio de Bochalema Norte de Santander, el cual contiene la descripción de las actividades, los implementos, la mano de obra y los costos necesarios para realizar un cultivo de 1000 m<sup>2</sup> en el sector.

Por otro lado, en la parte experimental, se llevan a cabo una serie de procesos y ensayos de prueba-error, para analizar y detallar cada paso dado en cada proceso elaborado, y determinar si los procesos son prácticos y permiten un avance en el proyecto. En esta sección se detalla meticulosamente cada fase realizada mediante diagramas de flujo, gráficos, figuras y tablas. Esta parte está compuesta por los procesos que se deben seguir para lograr la elaboración del material (eco-ladrillo de cannabis), las pruebas y los resultados obtenidos en cada una. Los resultados generan los datos necesarios para la construcción de las conclusiones y recomendaciones del proyecto. Todo esto se detallará en el presente capítulo.

### 3.1 Características del cultivo de cannabis Sativa

A continuación, en el Gráfico 3-1 se ilustra las características más importantes a tener en cuenta en un cultivo de cannabis Sativa.

**Gráfico 3- 1:** Características del cultivo de cannabis sativa



Fuente: Elaboración propia.

#### 3.1.1 Requisitos del sitio

García (2016) afirma que, el cultivo de cannabis Sativa no es una planta muy exigente en cuanto al factor climático, aunque tiene un mejor comportamiento con climas templados-

cálidos-húmedos, con temperaturas entre los 5,5 °C hasta los 27,5°C, fijando una temperatura promedio en los 14,5°C. También menciona que el cáñamo se adapta fácilmente a cualquier terreno, aunque también menciona que, para un mejor desarrollo de la planta, se recomiendan suelos franco-arcillosos, profundos y frescos con abundantes nutrientes. Y en cuanto a las necesidades hídricas, García menciona que el cáñamo puede desarrollarse solo con la precipitación del sector donde está cultivado, aunque también establece una cantidad promedio de consumo de agua por parte de esta planta, el cual está alrededor de 1500 a 3000 m<sup>3</sup>/ha durante todo su periodo de cultivo.

Así mismo, Eynde (2015) plantea que el cannabis Sativa es un cultivo que se adapta fácilmente a amplias condiciones climáticas, puede surgir en distintas condiciones climáticas y adaptarse sin muchos problemas, Eynde coloca un ejemplo en China, donde hay cultivos que se producen entre los 25 y los 50°C., esto significa que aun cuando se establecen algunas condiciones climáticas para un mejor desarrollo de las plantas, este puede adaptarse a temperaturas más bajas o altas, según el lugar donde sea cultivado. Eynde también habla sobre los requisitos del suelo, pues según él, las condiciones del suelo son fundamentales para que las raíces de la planta tengan un óptimo desarrollo y pueda absorber eficientemente los nutrientes. Él determina que los suelos más adecuados para esta planta son los franco arenosos y los franco arcillosos con un pH entre 6 y 7, debido a que estos suelos tienen la capacidad de retener una gran cantidad de agua y además contienen grandes cantidades de nutrientes beneficiosos para los cultivos de cáñamo, y por esta razón los suelos arenosos son los menos indicados debido a la poca capacidad de retención de agua y a los pocos nutrientes que contiene, y en cuanto a la cantidad de agua necesaria, Eynde afirma que esta varía según las condiciones de la zona, aunque según él, la planta se produce mejor con irrigación natural y que no necesita grandes cantidades de agua comparado con otros cultivos.

Según lo anterior, se puede determinar que una de las características fundamentales de la planta es su resistencia a los ataques de plagas y gran capacidad que tiene de adaptarse a casi cualquier clima del planeta, exceptuando las zonas polares y, además, su capacidad de regenerar los suelos. Existen cultivos de cannabis Savita en continentes como Asia, Europa y las Américas, esto demuestra la adaptabilidad y las pocas exigencias edafoclimáticas que requiere la planta para crecer y desarrollarse eficientemente.

### 3.1.2 Elementos del cultivo

En los elementos del cultivo se ubican tres actividades y requerimientos importantes a tener en cuenta para desarrollar un cultivo de cannabis Sativa.

### 3.1.3 Etapas de cultivo

Como se mencionó anteriormente el cannabis se adapta fácilmente a múltiples factores ambientales gracias a los beneficios agronómicos que presenta. Goyeneche y Parada (2019) en su tesis titulada “industrialización del cáñamo para la producción sostenible de papel en Norte de Santander” describen las etapas necesarias para llevar a cabo un cultivo de cáñamo industrial. Para la implementación del cultivo de cáñamo industrial en Bochalema se debe realizar una planificación de las tareas y actividades que se van a realizar. Entre las actividades a realizar se encuentran la adecuación del terreno para sembrar la planta, la siembra y germinación, seguimiento y control del cultivo y por último la cosecha de las plantas cultivadas.

Cabe destacar que se va a hacer una comparación de los cultivos de cannabis para obtención de fibra y de flor, con el fin de dar a conocer las similitudes y las diferencias entre ambos cultivos. Es importante conocer esto, debido a que en este proyecto se plantea en específico el aprovechamiento de los tallos y ramas obtenidas de las plantas de cannabis cultivadas para la obtención de flor en Colombia, especialmente la empresa Colombian Kif, ubicada en Bochalema Norte de Santander. Esto con el fin de aprovechar la materia prima que se desecha de las plantas (tallos y ramas) por las empresas, debido a que solo utilizan la flor. Aunque también se quiere dar a conocer la importancia de los cultivos de cannabis Savita dedicados a la obtención de fibra.

A continuación, se describen las etapas mencionadas por Goyeneche y Parada (2019).

- **Planificación y disposición de la plantación**

**Espacio necesario:** Para la obtención de fibra de cáñamo, el cultivo se debe sembrar con una densidad entre 90 hasta 250 plantas por metro cuadrado, las semillas se siembran juntas y deben ser esparcidas con esta densidad.

Es importante mencionar que lo anterior hace referencia a plantas de cannabis Sativa, especialmente sembradas para la obtención de fibra. Para la obtención de flores se siembran entre 4 a 5 plantas por metro cuadrado.

Todos los lotes de siembra deben tener caminos que permitan el acceso a personas para el riego y la aplicación de fertilizantes a las plantas. El terreno donde se planea sembrar debe ser uniforme para evitar encharcamientos, libre de obstáculos y de preferencia llano para favorecer el riego por inundación

**Planificación y requerimiento de la plantación:** Para lograr un desarrollo eficiente del cultivo de cáñamo es importante hacer una planeación de lo que se debe realizar durante todo el periodo de cultivo hasta la cosecha. También se deben tener en cuenta los requerimientos de la plantación. El cultivo de cáñamo tiene unos requerimientos mínimos para cumplir satisfactoriamente con el proceso de cultivo, estos requerimientos son:

- Cultivar en una ubicación estratégica que permita a la planta aprovechar los tratamientos e insumos que se emplearán en el cultivo.
- Tener en cuenta que el lugar donde se va a sembrar tenga buen acceso a fuentes de agua que permitan una irrigación suficiente para todos los espacios de cultivo.
- Tener en cuenta la disposición del terreno para evitar empozamientos de agua por mucho tiempo.
- Es importante que el cultivo tenga acceso directo a la luz solar.
- Tener en cuenta las recomendaciones sobre los aspectos ambientales mencionados anteriormente.

Debido al rápido crecimiento de la planta de cannabis Sativa, se pueden llevar a cabo tres cosechas al año (con ciclos de 110-120 días por cada cosecha),

Para la planeación del cultivo es importante tener en cuenta los tiempos de cada actividad (adecuación del terreno, siembra y germinación, seguimiento y control del cultivo, cosecha) y realizar un cronograma organizado por semanas que permita conocer las fechas donde se debe sembrar o cosechar en cada ciclo.

En los Gráficos 3-2 y 3-3, se presentan los cronogramas de cultivos de cannabis Sativa para obtención de flor y para obtención de fibra.

**Gráfico 3- 2:** Cronograma de un cultivo de cannabis sembrado para la obtención de fibra en un área de 1000 m<sup>2</sup>.

PROGRAMACION DE UN CULTIVO DE CÁÑAMO	MES	JULIO							AGOSTO							SEPTIEMBRE							OCTUBRE							NOVIEMBRE							DICIEMBRE							ENERO 2022			
		SEMANA							SEMANA							SEMANA							SEMANA							SEMANA							SEMANA										
		29	30	31	32	33	34	35	6-sep	13-sep	20-sep	27-sep	4-oct	11-oct	18-oct	25-oct	1-nov	8-nov	15-nov	22-nov	29-nov	6-dic	13-dic	20-dic	27-dic	3-ene	10-ene	17-ene	24-ene																		
ÁREA= 1000 M2	DÍA	19-jul	26-jul	2-ago	9-ago	16-ago	23-ago	30-ago	6-sep	13-sep	20-sep	27-sep	4-oct	11-oct	18-oct	25-oct	1-nov	8-nov	15-nov	22-nov	29-nov	6-dic	13-dic	20-dic	27-dic	3-ene	10-ene	17-ene	24-ene																		
ACTIVIDAD	ETAPA	TAREA																																													
Planeación y disposición de la plantación	1	Realizar cronograma de cultivo	19-jul																																												
	1	Hacer presupuesto para el cultivo	26-jul																																												
Adecuación del terreno para la siembra	2	Fumigación	2-ago	9-ago	16-ago	23-ago	30-ago	6-sep	13-sep	20-sep	27-sep																																				
	2	Limpieza y nivelación del suelo	23-ago	30-ago	6-sep	13-sep	20-sep	27-sep																																							
	2	Labrar la tierra (20-23 cm de profundidad)	20-sep	27-sep	4-oct	11-oct	18-oct	25-oct	1-nov	8-nov	15-nov	22-nov	29-nov	6-dic	13-dic	20-dic	27-dic	3-ene	10-ene	17-ene	24-ene																										
	2	Aplicación de nitrógeno	4-oct	11-oct	18-oct	25-oct	1-nov	8-nov	15-nov	22-nov	29-nov	6-dic	13-dic	20-dic	27-dic	3-ene	10-ene	17-ene	24-ene																												
Siembra y germinación	3	Siembra																																													
	3	Germinación																																													
Seguimiento y control	4	Riego																																													
Cosecha	5	Floración																																													
	5	Cosechar																																													

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la empresa Colombian KIF

En el gráfico anterior se puede visualizar una programación por semanas de un cultivo de cáñamo en un área de 1000 m2. En las primeras semanas se debe hacer la planificación de la plantación con la creación de cronogramas y presupuestos, seguidos por la adecuación del terreno donde se realizan tareas de aplicación de herbicidas para acabar con las malas hierbas, limpieza y nivelación del suelo para eliminar los obstáculos que haya en el terreno y dejarlo listo para labrar la tierra con una profundidad de 20 a 23 cm y finalmente la aplicación de nutrientes. Luego se procede a la siembra y germinación de las plantas y al control y seguimiento del cultivo para la aplicación de riego, de nitrógeno y estar pendiente por si hay alguna plaga o enfermedad. Finalmente se llega a la cosecha, donde se espera la floración de la planta y 20 días de pues se procede a cosechar la planta.

**Gráfico 3- 3:** Cronograma de un cultivo de cannabis sembrado para la obtención de flor en un área de 1000 m2.

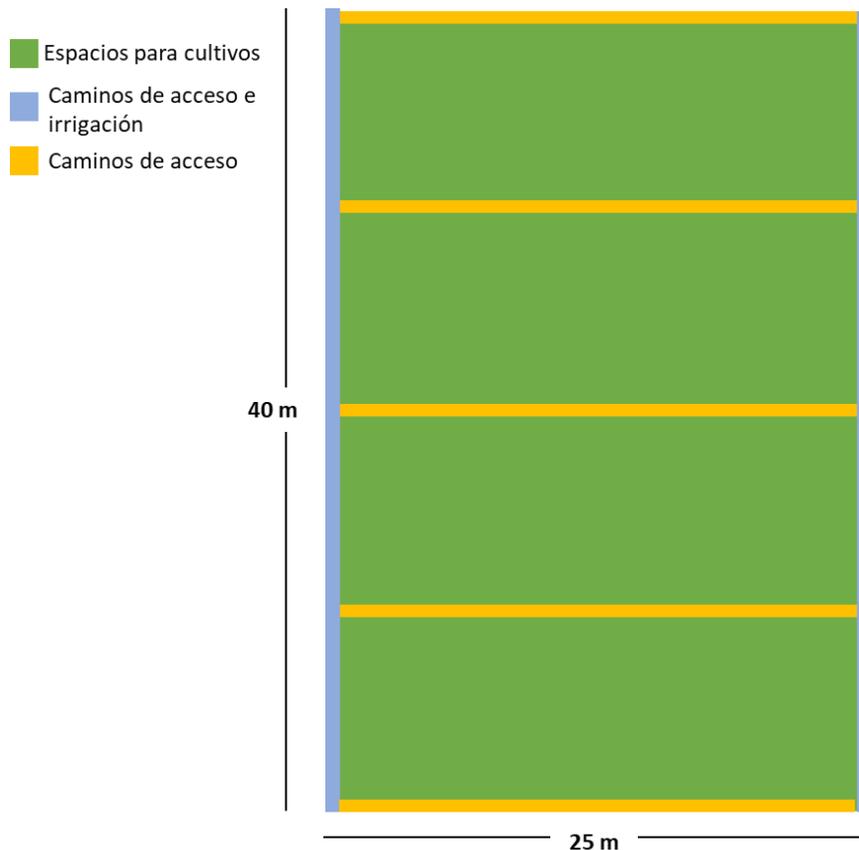
PROGRAMACION DE UN CULTIVO DE CÁÑAMO	MES	JULIO							AGOSTO							SEPTIEMBRE							OCTUBRE							NOVIEMBRE							DICIEMBRE							ENERO 2022			
		SEMANA							SEMANA							SEMANA							SEMANA							SEMANA							SEMANA										
		29	30	31	32	33	34	35	6-sep	13-sep	20-sep	27-sep	4-oct	11-oct	18-oct	25-oct	1-nov	8-nov	15-nov	22-nov	29-nov	6-dic	13-dic	20-dic	27-dic	3-ene	10-ene	17-ene	24-ene																		
ÁREA= 1000 M2	DÍA	19-jul	26-jul	2-ago	9-ago	16-ago	23-ago	30-ago	6-sep	13-sep	20-sep	27-sep	4-oct	11-oct	18-oct	25-oct	1-nov	8-nov	15-nov	22-nov	29-nov	6-dic	13-dic	20-dic	27-dic	3-ene	10-ene	17-ene	24-ene																		
ACTIVIDAD	ETAPA	TAREA																																													
Planeación y disposición de la plantación	1	Realizar cronograma de cultivo	19-jul																																												
	1	Hacer presupuesto para el cultivo	26-jul																																												
Adecuación del terreno para la siembra	2	Fumigación del terreno	2-ago	9-ago	16-ago	23-ago	30-ago	6-sep	13-sep	20-sep	27-sep																																				
	2	Limpieza y nivelación del suelo	23-ago	30-ago	6-sep	13-sep	20-sep	27-sep																																							
	2	Labrar la tierra (20-23 cm de profundidad)	20-sep	27-sep	4-oct	11-oct	18-oct	25-oct	1-nov	8-nov	15-nov	22-nov	29-nov	6-dic	13-dic	20-dic	27-dic	3-ene	10-ene	17-ene	24-ene																										
	2	Aplicación de nitrógeno	4-oct	11-oct	18-oct	25-oct	1-nov	8-nov	15-nov	22-nov	29-nov	6-dic	13-dic	20-dic	27-dic	3-ene	10-ene	17-ene	24-ene																												
Siembra y germinación	3	Siembra																																													
	3	Germinación																																													
Seguimiento y control	4	Riego																																													
Cosecha	5	Floración																																													
	5	Cosechar																																													

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la empresa Colombian KIF

Como se puede ver en los gráficos anteriores, los cultivos de cannabis para la obtención de fibra y de flor son muy similares, contienen la misma programación, la única diferencia entre ellos es el riego, las plantas sembradas para la obtención de flor deben ser regadas todos los días y se suspende el agua solo una semana antes de la cosecha, mientras que en los cultivos para la obtención de fibra, se debe cada 10 a 20 días aproximadamente, y se debe suspender el riego dos semanas antes de la cosecha,

**Disposición de la plantación:** La mejor forma para sembrar las plantas es mediante cepas rectangulares que logren una mayor densidad de plantas. El área destinada a la plantación debe estar rodeado por caminos ubicados paralelos al cultivo para que permitan el paso de personas y de las aguas, también se deben hacer unos caminos perpendiculares sectorizando el cultivo que permitan el acceso interior para el control, riego y aplicación de fertilizantes si es necesario. Esto es necesario para los dos tipos de cultivo (obtención de fibra y de flor) y se ilustra en la Figura 3-1.

**Figura 3-1:** Disposición de la plantación



Fuente: Elaboración propia.

- **Adecuación del terreno para la siembra**

La preparación de un terreno para la siembra requiere de tareas profundas que trituren la tierra con muchos trabajos de arados y rastreados, con el propósito de eliminar la mayor cantidad de malas hierbas y larvas de plagas nocivas y de corregirla para eliminar los obstáculos que haya en el terreno.

La adecuación del terreno para el cultivo de cáñamo es similar a la de los demás cultivos, se deben hacer trabajo de limpieza, descapote en la superficie y remoción de árboles si hay la necesidad de hacerlo. Estas tareas las deben realizar obreros con equipos como guadañas y/o motosierras. Para levantar la maleza y limpiar el terreno de piedras es necesario el uso de un tractor agrícola con rastrillo frontal, también es importante quemar la maleza después de hacer el descapote, debido a que la ceniza vegetal es nutritiva para la tierra ya que contiene grandes cantidades de potasio y fósforo. Es importante hacer una nivelación del terreno para eliminar huecos que impiden que el agua fluya por todo el terreno, para lograr un suelo uniforme con una mínima inclinación. Seguido de la limpieza y nivelación, el suelo debe ser labrado en varias ocasiones para lograr que esté bien triturada a una profundidad de 20 a 23 cm.

Posteriormente a la adecuación y preparación del terreno para la siembra, si se ve la necesidad, se puede aplicar un herbicida para prevenir el crecimiento de malas hierbas que puedan impedir el crecimiento de las plantas de cáñamo al salir de la semilla. Aunque en los cultivos con altas densidades como lo son los cultivos destinados a la extracción de fibra, este paso se puede omitir debido a que el follaje del cáñamo crece y cierra la zanja eliminando la luz dónde crecen las malas hierbas y posteriormente impidiendo su crecimiento. El control de malas hierbas por el cultivo de cáñamo tiene un mejor funcionamiento cuando hay una correcta densidad de plantas y estas logran crecer rápidamente hasta unos 50 cm de altura aproximadamente.

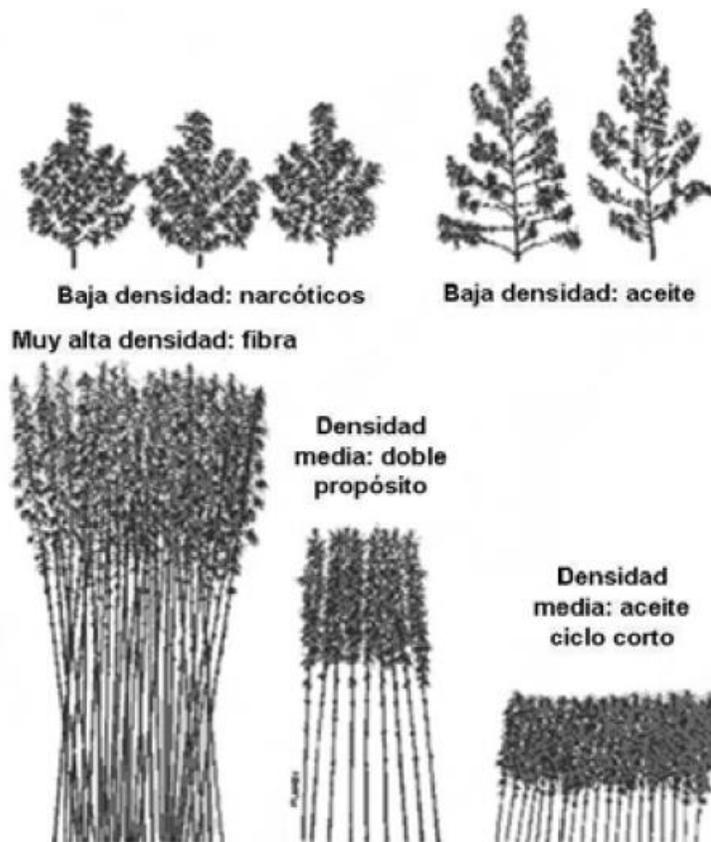
- **Siembra y germinación**

**Siembra:**

Existen varios métodos en los que se puede realizar el proceso de siembra: el método tradicional que es al voleo con un grupo de obreros o en líneas a mano o utilizando máquinas sembradoras. Para grandes superficies se recomienda sembrar en líneas

utilizando máquinas sembradoras para conseguir una mejor uniformidad del terreno, una germinación más homogénea y un menor desperdicio de las semillas. Para la obtención de fibra es conveniente sembrar en líneas con una distancia de 7 a 20 cm entre ellas para lograr tallos más finos y de mejor calidad. Para la obtención de flor se siembran esquejes ya formados y cortados de plantas madre antes sembradas en otro lugar, se deben sembrar de 4 a 5 esquejes por m<sup>2</sup>, debido a la frondosidad de sus hojas. La profundidad recomendada para las semillas es de 2 a 4 cm para que la germinación se dé de manera rápida porque si se siembra a una profundidad mayor se puede retardar el proceso de germinación y perder hasta un 15% de las semillas y a una profundidad menos se corre el riesgo de que las semillas sean tragadas por los pájaros. Finalizando la siembra, es necesario recorrer el terreno sembrado con un rodillo para que las semillas y la tierra tengan un buen contacto. (Figura 3-2).

**Figura 3-2:** Densidad de la siembra según el producto que se quiere obtener



Fuente: [https://www.researchgate.net/publication/272148231\\_Canamo\\_Cannabis\\_sativa\\_L](https://www.researchgate.net/publication/272148231_Canamo_Cannabis_sativa_L)

Para la obtención de fibra es conveniente una densidad de siembra entre 90 a 250 plantas por m<sup>2</sup>, aunque esta también varía según la calidad que se desea obtener, mientras que para la obtención de flor es conveniente una densidad de 4 a 5 esquejes por m<sup>2</sup>,

### **Germinación:**

La germinación es cuando la semilla se rompe y empieza a crecer la plántula, este proceso puede surgir en cualquier época del año, debido a que la temperatura óptima del suelo para la etapa de germinación es de 0 a 24°C y Norte de Santander no presenta temperaturas menores a los 0°C (a excepción de las regiones de páramo), al terminar el proceso de siembra se debe proceder a realizar un riego para fortalecer el proceso de germinación que se da aproximadamente a los diez días después de la siembra.

El proceso de germinación en plantas para la obtención de flor se hace en un lugar diferente al que se tiene preparado para los cultivos. Este proceso se hace con el objetivo de obtener plantas madre de las cuales luego se cortan las ramas para obtener esquejes, estos esquejes son los que se siembran para luego obtener plantas de cannabis para la obtención de flor. (Figura 3-3).

**Figura 3-3:** Semillas de cannabis



Fuente: <https://www.lamarihuana.com/germinar-semillas-cannabis-viejas/>

- **Seguimiento y control**

Después del proceso de germinación se deben aplicar riegos para apoyar las paltas cada diecinueve días hasta que la planta logre una altura de 15 a 20 cm aproximadamente, después de que sobrepase esa altura, se debe aplicar riego cada quince días y se debe retirar veinte días antes de la cosecha para que la fibra logre ser más resistente.

Es recomendable aplicar nitrógeno para la nutrición del suelo, se recomienda aplicar entre 80 a 120 kg/ha de la siguiente manera: 2/3 cuando se está en el proceso de siembra y 1/3 restante a los 20 o 30 días después de la germinación de la planta.

Aunque el cáñamo es una planta resistente a las plagas y no es muy común el control de estas para este tipo de plantas, se han registrado muchas especies de insectos (150 aproximadamente) que pueden afectar los cultivos de cáñamo. Por lo cual es importante hacer un seguimiento al cultivo en todos sus periodos de desarrolla para evitar que las plantas tengan presencia de plagas y si es necesario aplicar plaguicidas a tiempo para evitar el aumento y crecimiento de estas en las plantas.

En términos generales se puede decir que el cannabis Sativa es una planta rústica, por lo que es muy resistente a adversidades de cualquier tipo (climáticas, animales o vegetales) lo que le permite evitar daños considerables siempre y cuando las adversidades a las que debe resistir no sean muy intensas.

- **Cosecha**

Para la producción de fibra y de flor se puede obtener el rendimiento necesario en las plantas a los 110 días aproximadamente. Para obtener fibra de buena calidad se debe cosechar pocos días (20) después de la floración, para evitar que las semillas se desarrollen, debido a que esto afecta la cantidad y la calidad de fibra, pues las plantas macho van perdiendo la cantidad de fibra con el tiempo, ya que después de la floración mueren cuando liberan el polen. Si se cosecha el cáñamo en el momento adecuado, se favorece la calidad de la fibra y si se hace antes de tiempo la fibra se tornará clara, fina y de más baja resistencia, y si se deja pasar el tiempo la fibra será más oscura, gruesa y difícil de manipular.

El proceso de cosecha en cultivos pequeños se puede realizar a mano, cortando o arrancando las plantas, para cultivos con superficies grandes es conveniente la cosecha mediante máquinas como la cortadora-atadora o el quipo cortador levantador y atador.

### 3.1.4 Implementos usados en los cultivos

Los implementos agrícolas utilizados en los cultivos de cáñamo son los utilizados en cualquier otro tipo de cultivo, es decir, este cultivo no necesita implementos diferentes, más costosos o que sean difíciles de conseguir. En el Gráfico 3-4 se pueden observar los implementos necesarios para este tipo de cultivo.

**Gráfico 3- 4:** Implementos agrícolas utilizados en el cultivo de cannabis Sativa.

Bomba de fumigar		<a href="https://www.royalcondor.com/fumigadora-manual-royalcondor-la-integra/p">https://www.royalcondor.com/fumigadora-manual-royalcondor-la-integra/p</a>
Tijeras de poda		<a href="https://www.demaquinayherramientas.com/herramientas-de-corte/como-elegir-una-tijera-de-poda-de-acuerdo-al-trabajo-a-realizar">https://www.demaquinayherramientas.com/herramientas-de-corte/como-elegir-una-tijera-de-poda-de-acuerdo-al-trabajo-a-realizar</a>
Guantes Quirúrgicos		<a href="https://es.made-in-china.com/co_eastmed01/product_Sterile-Surgical-Latex-Gloves-Powdered-or-Powder-Free_eneuuooory.html">https://es.made-in-china.com/co_eastmed01/product_Sterile-Surgical-Latex-Gloves-Powdered-or-Powder-Free_eneuuooory.html</a>
Overol industrial		<a href="https://consyso.com/prducto/overol-dril-enterizo/">https://consyso.com/prducto/overol-dril-enterizo/</a>

**Gráfico 3-4:** (Continuación)

HERRAMIENTAS	Botas		<a href="https://mundodotacion.es.com/producto/botaa-gricolabata/">https://mundodotacion.es.com/producto/botaa-gricolabata/</a>
	Palas		<a href="https://www.interempresas.net/Ferreteria/FeriaVirtual/Producto-Palasy-palotes-22759.html">https://www.interempresas.net/Ferreteria/FeriaVirtual/Producto-Palasy-palotes-22759.html</a>
	Picas		<a href="https://www.ferreteriaorosa.com/TIENDA/index.php/product/pica-herramienta/">https://www.ferreteriaorosa.com/TIENDA/index.php/product/pica-herramienta/</a>
	Paladragas		<a href="https://www.linio.com.co/p/paladraga-355x139cm-calibre-16-herragro-qbuw6p">https://www.linio.com.co/p/paladraga-355x139cm-calibre-16-herragro-qbuw6p</a>
	Carretilla		<a href="https://www.tramontina.com.br/es/p/77713431-57-carretilla-de-mano-tramontina-con-caja-extra-honda-metalica-naranja-80-l-brazo-metalico-e-llanta-con-camara">https://www.tramontina.com.br/es/p/77713431-57-carretilla-de-mano-tramontina-con-caja-extra-honda-metalica-naranja-80-l-brazo-metalico-e-llanta-con-camara</a>

**Gráfico 3-4:** (Continuación)

MAQUINARIA	Tractor con azadonadora		<a href="https://www.agriexpo.online/es/fabricante-agricola/azadonadora-249.html">https://www.agriexpo.online/es/fabricante-agricola/azadonadora-249.html</a>
	Maquina sembradora		<a href="https://diesekubota.com.co/productos/sembradora-de-grano-fino/">https://diesekubota.com.co/productos/sembradora-de-grano-fino/</a>
	Maquina cortadora		<a href="https://ciudadcannabis.com/news/estilo-de-vida/crean-ingeniosa-maquina-cosechadora-de-canamo/">https://ciudadcannabis.com/news/estilo-de-vida/crean-ingeniosa-maquina-cosechadora-de-canamo/</a>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.5 Extracción de la materia prima para la fabricación de eco-ladrillos

Para la obtención de la materia prima (tallos y ramas) para la fabricación de eco-ladrillos se debe hacer un proceso de corte, limpieza, secado, y finalmente un proceso de triturado y molienda.

#### **Corte:**

Se debe cortar la estructura de la planta en la parte más baja para un mejor aprovechamiento de la materia prima.

**Limpieza:**

En este proceso se hace la limpieza de la planta, es decir se retiran las hojas y flores para dejar solo la estructura de la planta compuesta por las ramas y el tallo. Es un proceso corto, que no requiere maquinaria especial, aunque se debe hacer con mucho cuidado para no dañar la estructura.

**Secado:**

Es importante dejar secar la materia prima por un periodo de aproximadamente 2 semanas, con el fin de que la fibra esté totalmente seca (cambia de un color verdoso a un color café claro) y se pueda proceder a triturar y moler con mayor facilidad.

**Triturado y molienda:**

Este proceso es para la fabricación del material, después de que la materia prima esté totalmente seca, se lleva a una trituradora para disminuir el tamaño del material. Si se requiere que el material tenga un tamaño más pequeño, es necesario pasarlo por una moladora.

**3.1.6 Estudio de costos de un cultivo de cannabis para obtención de flor de 1000 m<sup>2</sup> ubicado en Bochalema Norte de Santander**

El cultivo de cannabis tiene una duración de aproximadamente cuatro meses, lo que permite que se puedan tener tres cultivos al año en el mismo terreno. El costo de un ciclo (4 meses) de cultivo de 1000 m<sup>2</sup> en Bochalema es de aproximadamente \$ 116.977.100 pesos y el costo anual del cultivo (3 ciclos) es de aproximadamente 150.431.500 pesos.

Este estudio se hace con el fin de conocer los costos de un cultivo de cannabis, es importante destacar que este es el costo para un cultivo de obtención de flor, es decir es un cultivo más costoso por lo que se deben hacer invernaderos y sistemas para conservar la flor, por lo que un cultivo dedicado a la obtención de fibra puede salir más económico por lo que ni hay que tener un cuidado especial.

Cabe señalar, como se dijo anteriormente, este estudio de costos se basa en un cultivo dedicado a la obtención de flor, por lo que la idea principal de este proyecto es aprovechar los residuos de tallos desperdiciados en este tipo de empresas, lo que significa que el cultivo estará dedicado a la obtención de fibra y de flor, y se lograría reducir en gran medida el precio de la fibra. Ya que se compraría la fibra que queda después de la obtención de

flor a las empresas que solo utilizan la flor, lo que generaría un ingreso extra para la empresa y se logra la reducción del costo de la fibra, lo que a su vez reduce el costo del producto final elaborado. (Gráfico 3-5).

**Gráfico 3- 5:** Costos de un cultivo de 1000 m2 de cannabis (obtención de flor)

	ACTIVIDAD	ETAPA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDA D/CICLO	CICLO /AÑO	VALOR UNITARIO	VALOR X CICLO	VALOR X AÑO (3 CICLOS)	
PRODUCCIÓN	Adecuación del terreno para la siembra	2	Invernadero de 1000 m2	Contrato	1	3	70.000.000	70.000.000	70.000.000	Se instala una única vez
		2	Fumigación	Contrato	1	3	190.000	190.000	570.000	
		2	Limpieza y nivelación	Contrato	1	3	3.000.000	3.000.000	6.000.000	Se reduce al 50% para los siguientes ciclos
		2	Labrar la tierra	Contrato	1	3	3.000.000	3.000.000	9.000.000	
		2	Aplicación de nitrógeno 18 kg x 1000 m2	kg	18	3	50.000	900.000	2.700.000	
	Siembra y germinación	3	Esquejes	Unidad	2.600	3	3.500	9.100.000	27.300.000	
		3	Siembra (Manual)	Jornal	2	3	50.000	100.000	300.000	
	Seguimiento y control	4	Sistema de luces	Contrato	1	3	12.000.000	12.000.000	12.000.000	El sistema de luces se instala una única vez
		4	Sistema de riego x goteo (Para cultivo en invernadero)	Contrato	1	3	12.000.000	12.000.000	12.000.000	El sistema de riego se instala una única vez
	Cosecha	5	Cosecha (Manual)	Jornal	3	3	50.000	150.000	450.000	
HERRAMIENTAS			Bomba de fumigar	Unidad	2	3	300.000	600.000	600.000	Las herramientas se comprar una única vez
			Tijeras de poda	Unidad	4	3	20.000	80.000	80.000	
			Guantes Quirúrgicos	Caja	12	3	20.000	240.000	240.000	
			Overol	Unidad	3	3	80.000	240.000	240.000	
			Botas	Unidad	3	3	40.000	120.000	120.000	
			Elementos de Protección Personal	Unidad	1	3	200.000	200.000	200.000	
			Palas	Unidad	2	3	25.000	50.000	50.000	
			Picas	Unidad	1	3	40.000	40.000	40.000	
			Paladragas	Unidad	1	3	60.000	60.000	60.000	
		Carretilla	Unidad	1	3	200.000	200.000	200.000		
OTROS			Seguridad Privada	Unidad	1	3	1.000.000	1.000.000	3.000.000	
			Mano de obra (Encargada de los cultivos)	Trabajador	2	3	150.000	300.000	900.000	
			Imprevistos 3%	Unidad				3.407.100	4.381.500	
<b>Total</b>								<b>116.977.100</b>	<b>150.431.500</b>	

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la empresa Colombian Kif

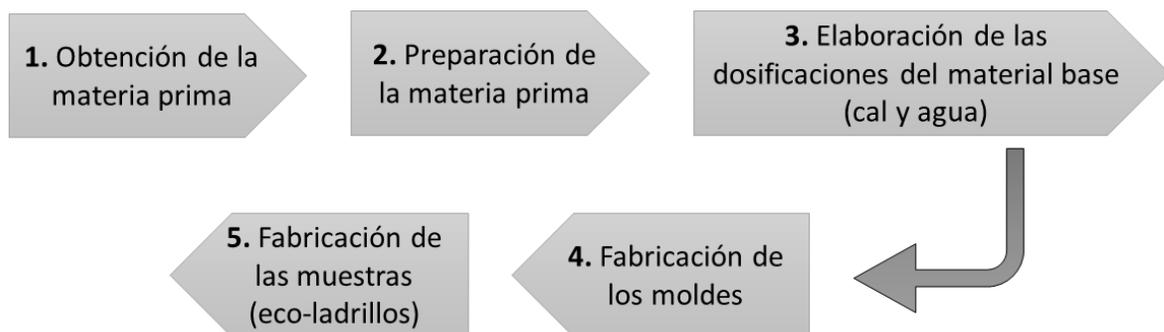
En el Gráfico 3-5 se puede ver una división en tres partes, las cuales son: producción, herramientas y otros. En la parte de producción se ubican todas las etapas que son llevadas a cabo para el cultivo de cannabis y los sistemas necesarios para llevar a cabo cada etapa, en la segunda parte se encuentran las herramientas necesarias y por último los costos de mano de obra.

Para el riego en este tipo de cultivo se recomienda un sistema de goteo que permite que el agua llegue a todas las plantas, lo que permite que todas las plantas cuenten con la misma cantidad de agua en el riego para tener un alto porcentaje de homogeneidad en las plantas.

## 3.2 Proceso para la elaboración de muestras de eco-ladrillos

En este apartado del capítulo, se da a conocer el paso a paso que se tuvo en cuenta para la elaboración de doce (12) eco-ladrillos, que posteriormente se llevaron al laboratorio para pruebas mecánicas. El proceso realizado para la creación de las muestras de eco-ladrillos se ilustra en el Gráfico 3-6.

**Gráfico 3- 6:** Proceso para la elaboración de las muestras de eco-ladrillos

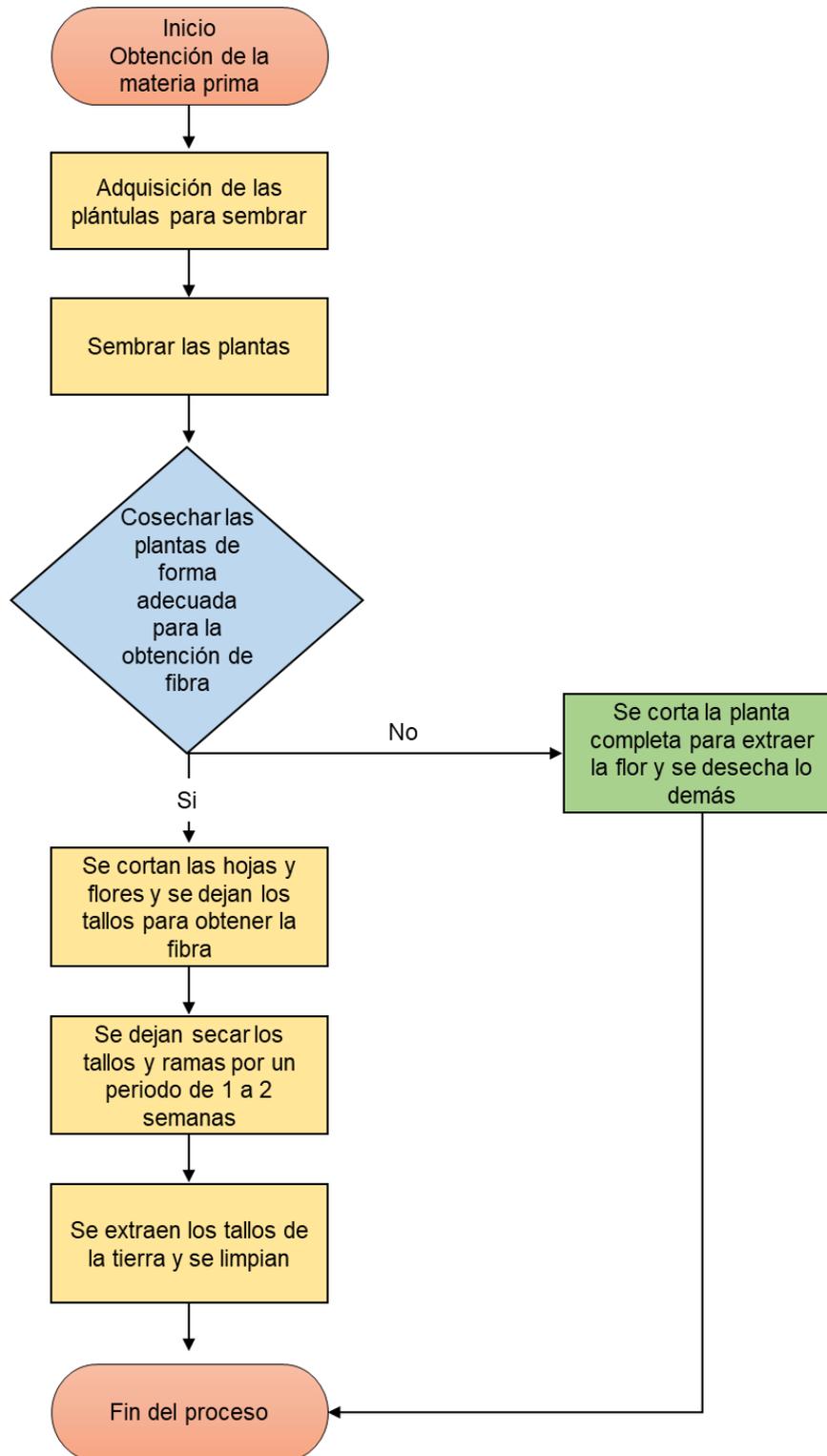


Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.1 Obtención de la materia prima

La materia prima es obtenida de las plantas de cannabis Sativa sembradas en la empresa Colombian Kif SAS ubicada en Bochalema Norte de Santander. El primer paso es la siembra de los esquejes, luego se procede a dejar de 110 a 120 días las plantas, después viene la cosecha donde las plantas son extraídas de la tierra y llevadas a su disposición final. En este caso, la empresa se dedica a sembrar plantas para la obtención de flor. Los trabajadores cortan los moños de flores, los cuales son llevados a un cuarto de secado y de ahí siguen el proceso para obtener un moño limpio y estético. Los tallos quedan en la tierra, a estos se les aparta las hojas que quedan y posteriormente se extraen de la tierra para pasar a un proceso de limpieza donde se le quitan las hojas y los residuos para que queden limpios y listos para el siguiente proceso.

En el Gráfico 3-7 se muestra el diagrama de flujo que describe el proceso que se lleva a cabo para la obtención de la materia prima.

**Gráfico 3- 7:** Diagrama de flujo del proceso de obtención de la materia prima

Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 3-4 a la 3-9 se ilustra el paso a paso para llevar a cabo el proceso de obtención de la materia prima.

**Figura 3- 4:** Esquejes listos para la siembra



Fuente: Imagen tomada en la empresa Colombian Kif

En la Figura 3-4 se muestran los esquejes de las plantas de cannabis Sativa, los cuales son necesarios para iniciar un proceso de cultivo de estas plantas. Estos esquejes tienen una altura de 15 a 20 cm aproximadamente. Los esquejes son obtenidos de la planta madre y son sembrados en canastillas durante cuatro (4) semanas, seguidamente son trasplantados en la tierra dónde siguen todo el proceso necesario para este tipo de cultivo.

**Figura 3- 5:** Plantas sembradas



Fuente: Imagen tomada en la empresa Colombian Kif

En esta imagen se observan las plantas sembradas sobre la tierra bajo invernadero, luego de ser sembradas como esquejes. Después de sembrar las plantas, estas deben durar aproximadamente tres (3) meses para poder cosecharlas.

**Figura 3- 6:** Plantas listas para cosechar



Fuente: Imagen tomada en la empresa Colombian Kif  
Pasados los cuatro meses (1 de esquejes y 3 de cultivo) las plantas están listas para la cosecha. La materia prima está lista para extraerse y para continuar los procesos que siguen.

**Figura 3- 7:** Plantas cosechadas



Fuente: Imagen tomada en la empresa Colombian Kif

En este paso, se obtienen las plantas después de cuatro meses de cultivo, las cuales se encuentran listas para la obtención de la materia prima. En este caso se cosecha la flor debido a que la empresa se dedica a la obtención de la misma, y los tallos se dejan plantados para luego cortarlos y desecharlos.

**Figura 3- 8:** Tallos después de la extracción de flores y hojas



Fuente: Imagen tomada en la empresa Colombian Kif

En esta imagen se pueden ver los tallos y ramas verdes. Luego de la extracción de las flores y hojas, los tallos quedan listos para cortar y ser limpiados hasta obtener un tallo limpio y puro. Luego deben ser secado, para esto se dejan al sol durante 1 o 2 semanas, hasta que cambie de color y al partirlo suene como si estuviera crujiente.

**Figura 3- 9:** Tallos y ramas secos y listos para triturar



Fuente: Imagen tomada en la empresa Colombian Kif

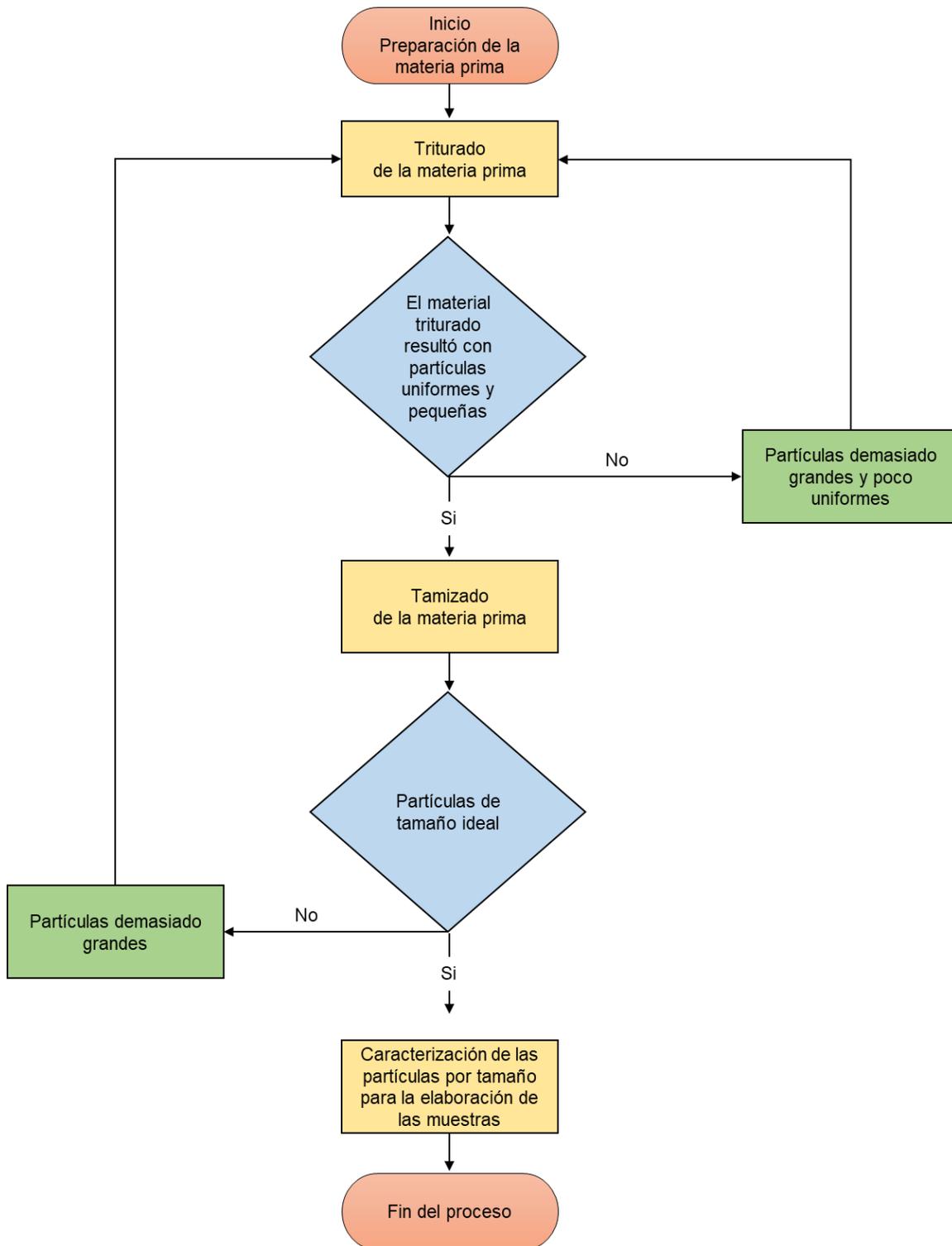
Como se puede ver en la imagen anterior, después de secos, los tallos cambian de un color verdoso a un color café claro. Después de todo el proceso de siembra, cosecha, extracción y limpieza, se tiene la materia prima lista para el siguiente paso, el triturado y/o molido.

### 3.2.2 Preparación de la materia prima

En el proceso de preparación de la materia prima, se procede a pasar el material por una trituradora para tritularlo y disminuir su tamaño y luego si es necesario se debe pasar por un molino para que los granos disminuyan más su tamaño. Luego de la triturada y/o molida, el material pasa a un proceso de tamizado para caracterizar el material por tamaños.

En el Gráfico 3-8 se describe el proceso que se debe llevar a cabo para la preparación de la materia prima para elaborar las muestras de eco-ladrillos

**Gráfico 3- 8:** Diagrama de flujo del proceso de preparación de la materia prima



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se hace una descripción de cada paso y se ilustra con imágenes tomadas en el proceso.

- **Triturado**

El triturado es un proceso que se realizó con el fin de disminuir el tamaño de la materia prima para crear una mezcla homogénea para la elaboración de los eco-ladrillos. Para triturar el material para este proyecto, primero se intentó triturar con una maquina cortadora de pasto artesanal, la cual disminuyó su tamaño, pero no lo dejó totalmente triturado ni uniforme y no funcionó, debido a que la materia prima no quedó homogénea ni con un tamaño pequeño. Por lo cual, se interrumpió el proceso y no se pudo trabajar el material con la cortadora de pasto. (Figura 3-10).

**Figura 3- 10:** Primer intento: triturado de la materia prima con una cortadora de pasto artesanal



Fuente:

Imagen tomada en trabajo de campo

El paso anterior no funcionó debido a que la cortadora de pasto no disminuye a gran medida el material, lo corta y disminuye su tamaño, pero no lo suficiente para crear una mezcla, como se puede ver en la Figura 3-11.

**Figura 3- 11:** Tamaño obtenido con la cortadora de pasto



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

En la Figura 3-11 se puede ver el resultado obtenido después de pasar el material por la máquina cortadora de pasto, como se puede observar, el resultado es un material grueso, alargado y no uniforme, debido a esto, este proceso no funcionó y el material debió ser pasado por otra máquina para obtener el tamaño necesario para crear una mezcla homogénea.

Para el siguiente paso se intentó cortar el material con un machete para disminuir su tamaño y luego se pasó por un molino manual, con el fin de obtener un material ms fino y uniforme. (Figura 3-12).

**Figura 3- 12:** Corte y molienda del material de forma manual



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

Con este proceso tampoco se logró obtener el tamaño requerido para la creación de las muestras, el corte manual ayudó a disminuir los tallos, pero al momento de usar el molino manual, el trabajo fue muy difícil debido a que este se atoraba con la materia prima y hacía que la molienda se convirtiera en un trabajo muy fuerte y muy lento. Por lo cual este proceso también fue descartado y no se pudo continuar con la preparación de la materia prima de esta forma.

Después de los intentos anteriores, se logró el préstamo de la maquina trituradora de plástico por parte de la universidad de Pamplona y se procedió a triturar el material con esta máquina. (Figura 3-13).

**Figura 3- 13:** Triturado del material con la máquina trituradora de plástico ubicada en la universidad de Pamplona



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

En este proceso, se trituró la materia prima en la máquina trituradora de plástico. El material fue introducido por la parte superior, luego llegaba a una parte central dónde se realizaba el triturado y finalmente se depositaba en la parte inferior. El material obtenido en este proceso tuvo un tamaño apropiado y uniforme como se puede ver en la Figura 3-14. El tamaño era el indicado para seguir al siguiente proceso. Aunque el proceso de triturado en esta máquina fue realizado dos veces, para disminuir el material que quedó más voluminoso después del proceso de tamizado.

**Figura 3- 14:** Material obtenido de la trituradora de plástico



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

Como se puede observar en la Figura 3-14, el material obtenido de la trituradora fue un material más uniforme y de tamaño más pequeño, por lo que este fue el paso llevado a cabo para triturar toda la materia prima obtenida, para seguir con el siguiente proceso.

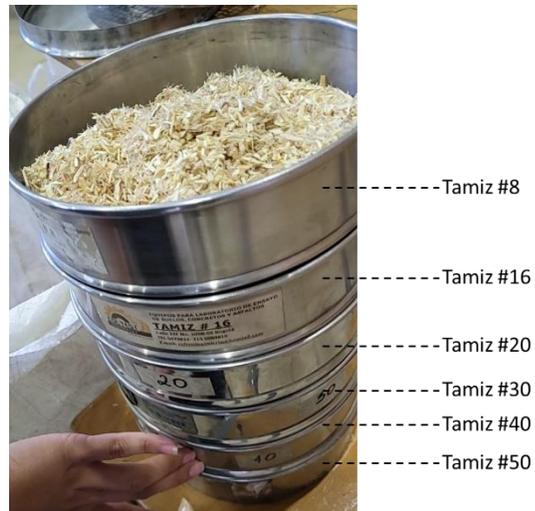
- **Tamizado**

El proceso de tamizado se realizó con el fin de caracterizar por tamaños el material triturado en el proceso anterior. Este proceso se llevó a cabo en la Universidad de Pamplona en el laboratorio de suelos del programa de ingeniería Civil. (Figura 3-15).

Los tamices utilizados en este proceso fueron: 8, 16, 20, 30, 40 y 50, para un total de 6 tamices.

En el proceso de tamizado se consiguió caracterizar la materia prima por tamaños, lo cual permitió realizar muestras con tamaños de grano diferente para realizar pruebas y analizar cuál es el tamaño adecuado para obtener una mezcla más resistente y con más propiedades mecánicas, esto se verá reflejado en las pruebas de laboratorios realizadas a cada muestra y analizadas más adelante.

**Figura 3- 15:** Tamices utilizados para la caracterización por tamaños de la materia prima



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

El proceso de tamizado fue realizado de forma manual como se puede ver en la figura 3-16, se ubicaba la materia prima en un tamiz superior, luego se apilaban los tamices por tamaño y se colocaba una tapa en el primer tamiz, y una base al final. Luego se tomaba la pila de tamices y se hacían movimientos bruscos de forma vertical y horizontal durante aproximadamente cinco (5) minutos para que el material ubicado en la parte superior fuera bajando y se ubicara en el tamiz correspondiente a su tamaño. Así la materia prima se iba acomodando en cada sección de la estructura de tamices hasta que llegara al tamiz con el tamaño adecuado para cada grano.

**Figura 3- 16:** Proceso de tamizado manual



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

Después del proceso de tamizado manual, se obtuvo una caracterización de los granos según su tamaño y se colocó el material obtenido de cada sección en un recipiente diferente y marcado con el número de cada tamiz.

La Tabla 3-1 hace referencia a los tipos de tamices utilizados en este proyecto. El número de tamiz y las medidas de cada uno.

**Tabla 3- 1:** Medidas de los tamices

Tamiz	Medida del tamiz en pulgadas	Medida del tamiz en milímetros	Medida del tamiz en Micrones
8	0,0937	2,38	2380
16	0,0469	1,19	1190
20	0,0331	0,841	841
30	0,0234	0,595	595
40	0,0165	0,420	420
50	0,0117	0,297	297

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de internet

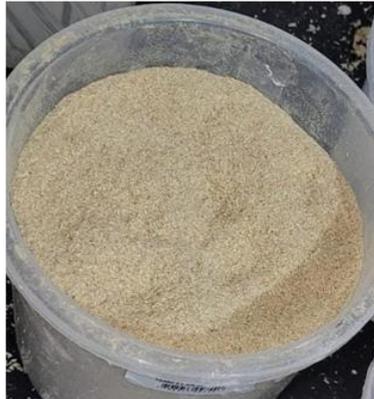
En la tabla ilustrada anteriormente, se puede observar la caracterización de los tamices usados para este proyecto, la medida de los agujeros de las mallas en pulgadas, milímetros y micrómetros.

En las Figura 3-17 se muestra el resultado de la materia prima tamizada y separada por tamaños según los tamices. En la cual se puede observar que a medida que avanza el número del tamiz, el tamaño del material se vuelve más diminuto. Este proceso fue muy interesante, ya que permitió obtener un material muy uniforme. Como se logra ver, en el primer tamiz hay un material grande y en el último el material luce como una harina.

En material obtenido en el tamiz número 8 no se utilizó para elaborar la mezcla para los eco-ladrillos, debido a que era muy grande, este material se volvió a triturar en la máquina para disminuirlo y que quedara de un tamaño máximo como el del tamiz número 16.

Con este proceso se finaliza la preparación de la materia prima, y esta se deja lista para continuar con los siguientes procesos.

**Figura 3- 17:** Material tamizado en tamiz número 8 tamaño 2,38 mm

<p>Material tamizado con el tamiz número 8 Malla: 2,38 mm</p>	<p>Material tamizado con el tamiz número 16 Malla: 1,19 mm</p>	<p>Material tamizado con el tamiz número 20 Malla: 0,841 mm</p>
		
<p>Material tamizado con el tamiz número 30 Malla: 0,595 mm</p>	<p>Material tamizado con el tamiz número 40 Malla: 0,420 mm</p>	<p>Material tamizado con el tamiz número 50 Malla: 0,297 mm</p>
		

Fuente: Elaboración propia con base en imágenes tomadas en trabajo de campo

- **Caracterización de las partículas por tamaño**

Es importante mencionar que las partículas obtenidas después del proceso de tamizado, se agruparon para obtener un rango más alto en cada partícula. Es decir, se agruparon algunos tamaños de tamices, lo cual se puede observar en la Tabla 3-2.

**Tabla 3- 2:** caracterización por tamaños de las partículas de cannabis

Tamaño de partículas	Tamices	Rango de tamaño (en milímetros)
Medio	8 - 16	$\leq 2,38$ mm $\geq 1,19$ mm
Medio-fino	20 - 30	$\leq 1,19$ mm $\geq 0,595$ mm
Fino	40 - 50	$\leq 0,595$ mm $\geq 0,297$ mm

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

Como se contempla en la Tabla 3-2, las partículas fueron caracterizadas en tres tamaños, medio, medio-fino y fino, cada una con un rango de tamaño definido establecido por el número de tamiz utilizado para caracterizar las partículas. Para la elaboración de las muestras se tienen en cuenta los tres tamaños para hacer pruebas y determinar cuál tamaño presenta mejores propiedades mecánicas.

### 3.2.3 Materiales utilizados en la elaboración de la mezcla

- **Cal hidratada**

La cal hidratada, cal muerta o Hidróxido de Calcio es un polvo blanco que se obtiene de la mezcla de cal viva u óxido de calcio con agua.

La cal se obtiene cuando la piedra caliza se calcina por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio, lo cual se denomina cal viva. Cuando este óxido de calcio o cal viva se mezcla con el agua se obtiene un polvo blanco denominado Hidróxido de Calcio también conocido como cal hidratada o cal muerta. La cal hidratada es un material cementante que tiene propiedades impermeabilizantes y permite una mejor compactación, debido a sus partículas muy finas, rellena los vacíos presentes en un material dando uniformidad y evitando la porosidad.

Es usada en construcción como agregado en concretos, en la fabricación de morteros, estucos, pinturas y bloques.

La cal tiene propiedades impermeables, que previenen la humedad en un lugar. También es usada para higienizar el agua y estabilizar los suelos.

En construcción la Cal permite que una mezcla presente una mayor retentividad debido al tamaño diminuto de sus partículas, la cal penetra y envuelve la mezcla logrando una mayor absorción de agua; también permite una mayor adherencia de la mezcla ya que disminuye la porosidad.

- **Agua**

A la mezcla elaborada se le agregó la cantidad de agua necesaria para crear una contextura favorable que asegure que el eco-ladrillo tendrá una óptima compactación.

- **Cañamiza de cannabis triturado**

El cannabis (cáñamo) es usado como material agregado para reforzar la mezcla con un fin ecológico. El material aporta propiedades térmicas, resistencia al fuego y de resistencia. En el tema ambiental absorbe una gran cantidad de CO<sub>2</sub>, incluso después de procesado el material. (Figura 3-18)

**Figura 3- 18:** Materiales usados en la elaboración de las muestras



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

### 3.2.4 Elaboración de las dosificaciones y el material base

Para lograr las dosificaciones adecuadas para la creación de la mezcla para la elaboración de las muestras, inicialmente se hizo un par de muestras pequeñas, con diferentes dosificaciones, estas muestras fueron realizadas con el fin de practicar para hacer la mezcla de las muestras finales y ver cuál dosificación se comportaba mejor y poder tomarla como guía para las muestras finales.

Para las dosificaciones se tomó como referencia el trabajo de investigación publicado por la revista internacional Elsevier en 2017 y realizado por los investigadores Jose Williams y Mike LawrencePete Walker, el trabajo titulado “La influencia de los constituyentes en las propiedades del bioagregado compuesto cáñamo-cal” donde se analizan resultados de pruebas de resistencia a compresión y a flexión y la conductividad térmica de un bloque elaborado con cal y cáñamo. En este trabajo, los autores elaboran bloques con cinco dosificaciones y tamaños de partículas diferentes, para evaluar la influencia de la relación ligante/agregado y del tamaño de las partículas sobre las pruebas realizadas. (Jose Williams y Mike LawrencePete Walker, 2017)

En la Tabla 3-3 se puede observar las variaciones de cáñamo-cal y de tamaño de partículas, producidas por los autores mencionados anteriormente.

**Tabla 3- 3:** Variaciones cáñamo-cal y tamaños de partículas producidas.

Tamaño de las partículas a agregar	Cáñamo/Aglutinante/Agua (en masa)
Fino	16% /36% /48%
Medio	17% /32% /51%
Medio	16% /36% /48%
Medio	15% /39% /46%
Grueso	16% /36% /48%

Fuente: Tomado de la revista Elsevier 2017

En la tabla 3-3 se logran identificar tres tipos de tamaño de partículas utilizados, tamaño fino, tamaño medio y tamaño grueso. Luego se pueden distinguir las distintas dosificaciones aplicadas a cada tamaño de partícula. Es decir, el tamaño de partícula fino se agregó en un 16% al total de la mezcla, el tamaño de partícula medio se agregó en tres dosificaciones diferentes, 17%, 16% y 15% del total de las mezclas, y finalmente el tamaño de partícula grueso se agregó en un 16% del total de la mezcla. En cuanto a las dosificaciones, desarrollaron cinco dosificaciones diferentes variando los porcentajes de cáñamo, aglutinante y agua, en todas las dosificaciones se puede observar una mayor cantidad de agua, seguido por una cantidad más baja de aglutinante y finalmente una cantidad menor de cáñamo, es decir, aunque son diferentes, las variaciones son muy bajas

y todas siguen el patrón de agua, aglutinante y cáñamo, siendo este último el de menos proporción en la mezcla.

Cabe destacar que el trabajo mencionado anteriormente fue usado en este proyecto para tener una guía en cuanto a las dosificaciones que se pueden crear para este tipo de material (mezcla de cal y cáñamo).

De las dosificaciones ilustradas en la tabla 3-3, se tomó la dosificación 17%, 32%, 51% y la 16%, 36%, 48% en la proporción de cáñamo, cal y agua, con el tamaño de partícula medio, se escogieron estas dosificaciones y este tamaño de partícula debido a que en el trabajo que se usó de referencia, los autores al analizar las pruebas destacan que en las dosificaciones 2, 3 y 4 se obtuvieron mejores resultados que en las dosificaciones 1 y 5. Aunque al momento de fabricar las muestras iniciales, las dosificaciones presentan pequeñas variaciones, lo cual se podrá observar en la Tabla 3-4.

El tamaño de la partícula usado para la elaboración de las muestras iniciales es la obtenida en el tamiz número 8 y 16, los cuales se mezclaron para tener un rango en los tamaños.

**Tabla 3- 4:** Dosificaciones producidas para la primera y segunda muestra inicial de este proyecto

N.	Tamaño de las partículas a agregar	Tamaño de las partículas en milímetros (tamiz #8 y #16)	Dosificación en porcentaje (Cáñamo/Aglutinante/ Agua)	Dosificación en gramos (Cáñamo/Aglutinante/ Agua)
1	Medio	$\leq 2,38$ mm $\geq 1,19$ mm	15,4% /34,6% /50%	58 /129 /187
2	Medio	$\leq 2,38$ mm $\geq 1,19$ mm	18,2% /30,3% /51,5%	60 /100 /170

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

En la Tabla 3-4 se muestran las dosificaciones realizadas y el tamaño de partículas usado en la elaboración de dos muestras que se hicieron inicialmente para ir conociendo el comportamiento del material y para elegir la dosificación que será usada para la elaboración de las muestras finales a las cuales se les hará las pruebas correspondientes.

Habría que añadir que se elaboró una tercera muestra, pero para esta se tomó de referencia el trabajo de grado realizado por el estudiante Mario Alejandro Huelgos Reyes en 2021, titulado “Prototipos constructivos aplicables en las construcciones alternativas en base a las fibras de la industria del cannabis” (Huelgos, 2021). En este proyecto el autor fabrica 11 prototipos de ladrillos con diferentes dosificaciones y variaciones en los materiales. Él varía el uso de materiales (cannabis, cal, cascarilla de arroz y arcilla) para crear diferentes mezclas y evaluar con pruebas de resistencia a la compresión cual resiste más peso.

Para este caso, se usó la dosificación de cal y cáñamo, ya que es la de interés para este proyecto, y también se eligió la mezcla con más contenido de cannabis (30% de la cantidad de cal) para ensayar. (Tabla 3-5).

**Tabla 3- 5:** Dosificación producida para la tercera muestra inicial de este proyecto

N.	Tamaño de las partículas a agregar	Tamaño de las partículas en milímetros	Dosificación en porcentaje (Cáñamo/Cal/ Agua)	Dosificación en gramos (Cáñamo/Cal/ Agua)
3	Medio	$\leq 2,38$ mm / $\geq 1,19$ mm	14,4% /47,6% /38%	60 /198 /158

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

Con las dosificaciones presentadas en las tablas 3-4 y 3-5 se realizaron tres muestras iniciales para conocer el comportamiento del material y determinar cuál era la dosificación que mejor se comportaba para elegir la mezcla óptima para fabricar las muestras finales y realizar las pruebas de resistencia y termoacústicas. (Figura 3-19).

**Figura 3- 19:** Muestras fabricadas inicialmente



Fuente: Imágenes tomadas en trabajo de campo

En la Tabla 3-6 se presentan los datos obtenidos en cada muestra fabricada.

**Tabla 3- 6:** Tabla de datos de las muestras iniciales

N°	Dosificación en gramos (Cannabis/Cal/ Agua)	Peso húmedo (gramos)	Días de secado	Peso seco (gramos)	Dimensiones en cm (Diámetro superior/ diámetro inferior/altura)
1	58 /129 /187	375	28	176	4,8 /3,9 /5
2	60 /100 /170	334	28	173	4,8 /3,9 /5
3	60 /198 /158	420	28	277	5 /3,9 /6

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

En la Tabla 3-6 se sitúan los datos obtenidos por cada muestra elaborada. La muestra número 3, la cual tiene la mayor cantidad de cal, casi el 50% del total de la mezcla, es la que presenta una densidad más alta y una disminución de paso más baja, físicamente la muestra número 3 tuvo menos adherencia entre sí y se logra ver en la Figura 3-19 que presenta más porosidad que las muestras 1 y 2. También se logra observar que esta muestra, se ve más incompleta por que al estar seca muchas partes del material empezaron a desmoronarse porque no lograron tener una buena compactación. Tomando como guía la muestra número 3, se puede determinar que una mayor cantidad de cal en la mezcla crea una solido poco compacto y con leves hundimientos en la parte superior e inferior de la muestra. Las muestras 1 y 2, como se logra ver en las Figura 3-19 tuvieron un resultado más compacto y menos poroso, también se logran ver las muestras más completas por lo que tuvieron mejor adherencia y no se desmoronaron como la muestra 3. Las muestras 1 y 2 tienen una dosificación muy semejante, la variación más relevante es la cantidad de cal pues en la muestra 1 presenta un porcentaje de cal del 34,6 y la muestra 2 presenta un porcentaje de cal del 30,3, aunque la variación de cannabis también es un poco relevante, en la muestra 1 hay un porcentaje del 15,4 y en la muestra 2 un porcentaje de 18,2; en cuanto al agua, las dos presentan un porcentaje de agua casi igual, con una variación la una de la otra de solo el 1%.

En vista de lo mencionado anteriormente, se descartó la muestra número 3 y se tomó como referencia la mezcla 2 ya que es la que más contenido de cannabis presenta, y la que mejor comportamiento tuvo con el pasar de los días.

De la mezcla número 2, se extrajo el material base, es decir, al tomar esta muestra como referencia para la elaboración de las muestras finales, se extrajo el porcentaje de cada material y se eliminó el porcentaje de cannabis, para así obtener un porcentaje del 100% de material base que es cal y agua, y conocer qué porcentaje ocupó cada uno en la mezcla teniendo en cuenta el material base como el 100% de la mezcla.

- **Material base para las muestras finales**

Como se mencionó en el párrafo anterior, después de elegir la dosificación que servirá de guía para la elaboración de las muestras se extrae el material base (cal y agua) para conocer el porcentaje de cal y de agua existentes en la dosificación escogida, teniendo en cuenta que el material base equivale al 100% de la mezcla. (Figura 3-20).

**Figura 3- 20:** Material base (Cal y agua)

$$\begin{array}{r} 270 \text{ g} \text{ -----} 100\% \\ 100 \text{ g} \text{ -----} \quad \times \quad = 37\% \text{ Cal hidratada} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 270 \text{ g} \text{ -----} 100\% \\ 170 \text{ g} \text{ -----} \quad \times \quad = 63\% \text{ Agua} \end{array}$$

Fuente: Elaboración propia

La dosificación de la muestra número 2 es 18,2% de cannabis, 30,3% de cal y 51,5% de agua y en gramos 60 g de cannabis, 100 gramos de cal y 170 gramos de agua. Para conocer el porcentaje del material base, se elimina el porcentaje de cannabis, entonces, son 100 g de cal y 170 g de agua para un total de masa de 270 g. los 270 g equivalen al 100% del material base, como se logra ver en la Figura 3-20, se hace una regla de tres para identificar el porcentaje de cal y el porcentaje de agua existente en el material base.

En la figura 3-20 se observa que el porcentaje de cal en el material base es el 37% y el porcentaje de agua es el 63%. Con esto, se logró determinar el material base para la elaboración de las mezclas. Luego de identificar el material base, se agregan diferentes

porcentajes de cannabis para fabricar las muestras con un material base y variaciones solo en el porcentaje de cannabis.

### 3.2.5 Fabricación de los moldes

Para la elaboración de las muestras para este proyecto, se fabrican moldes de madera de dimensiones de 6 cm de alto x 12 cm de ancho x 12 cm de largo. (Figura 3-21).

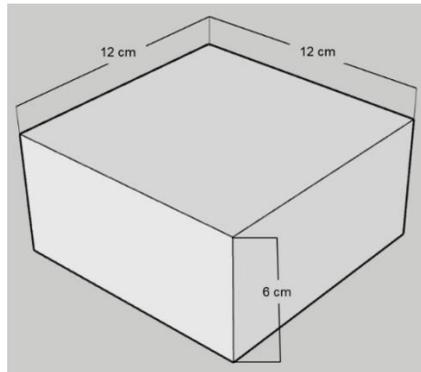
Para la elaboración de los especímenes de las pruebas se toma como referencia la norma NTC 4017, la cual da las especificaciones para la elaboración de especímenes de ensayo para pruebas de compresión. Esta norma especifica que los especímenes para las pruebas deben ser elaborados con la medida real que va a tener el ladrillo para ser usado en construcción, y en caso de ser necesario, se puede disminuir la longitud a la mitad. (Figura 3-22).

**Figura 3- 21:** Moldes de madera



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

**Figura 3- 22:** Medida de los especímenes

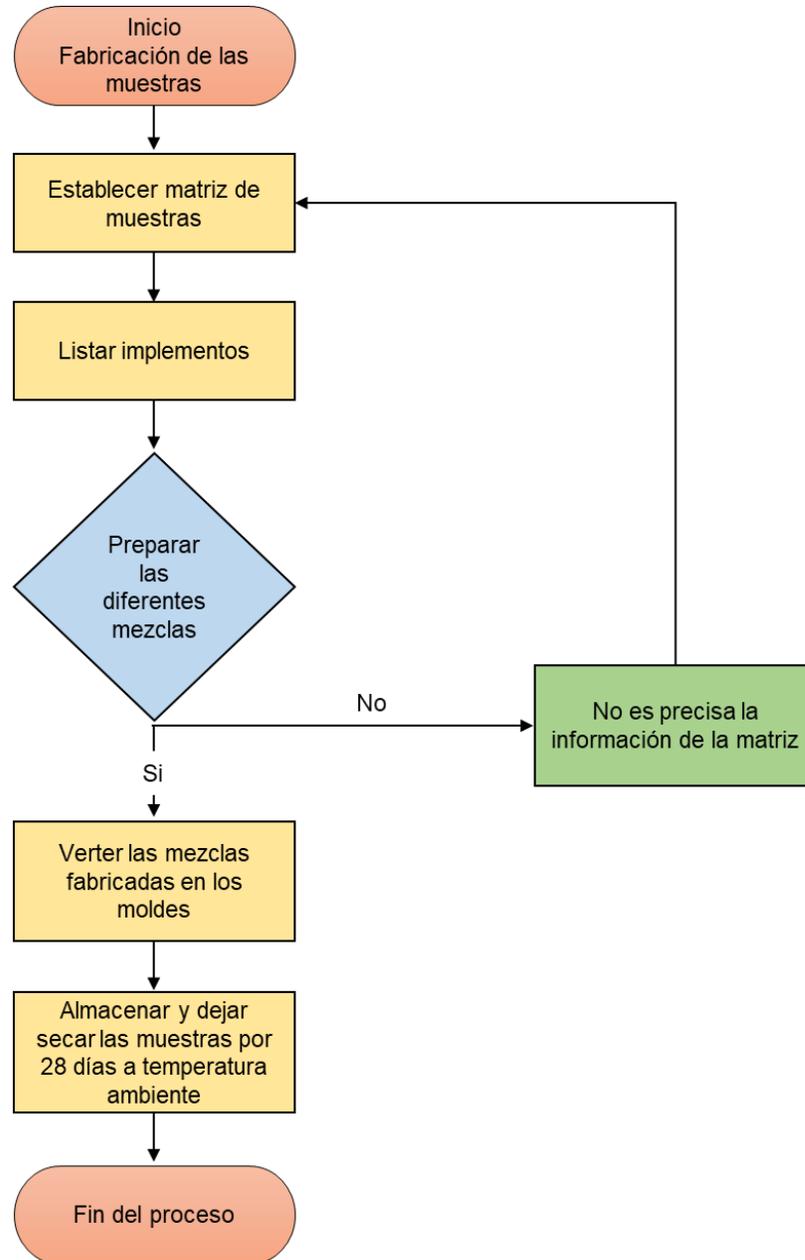


Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

Se utilizó la medida de 12x12x6 cm para poder realizar la cantidad de muestras necesarias con la cantidad de material obtenido. En total se fabricaron 12 muestras, con 6 dosificaciones diferentes.

### **3.2.6 Fabricación de las muestras (eco-ladrillos)**

**Gráfico 3- 9:** Diagrama de flujo del proceso de fabricación de las muestras



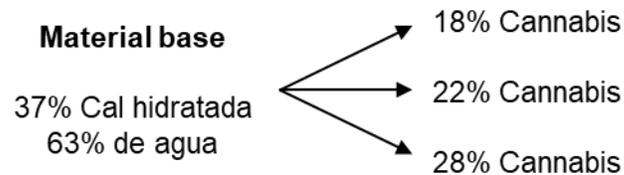
Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 3-9, se diagrama el proceso que se llevó a cabo para la fabricación de las muestras; como se logra ver en el mismo, el primer paso a seguir es establecer una matriz para tener una información precisa sobre la cantidad de muestras a fabricar y caracterizar cada muestra por porcentaje de cannabis y por tamaño de partículas, el siguiente paso es alistar los implementos necesarios para iniciar el proceso (recipientes, gramera, vara para mezclar, cal, cannabis, agua, papel y lápiz), luego se procede a preparar cada mezcla en

un recipiente diferente y verterlas en los diferentes moldes, finalmente se almacena y se deja secar por 28 días a temperatura ambiente.

- **Matriz de muestras**

**Gráfico 3- 10:** Porcentajes de cannabis a agregar al material base



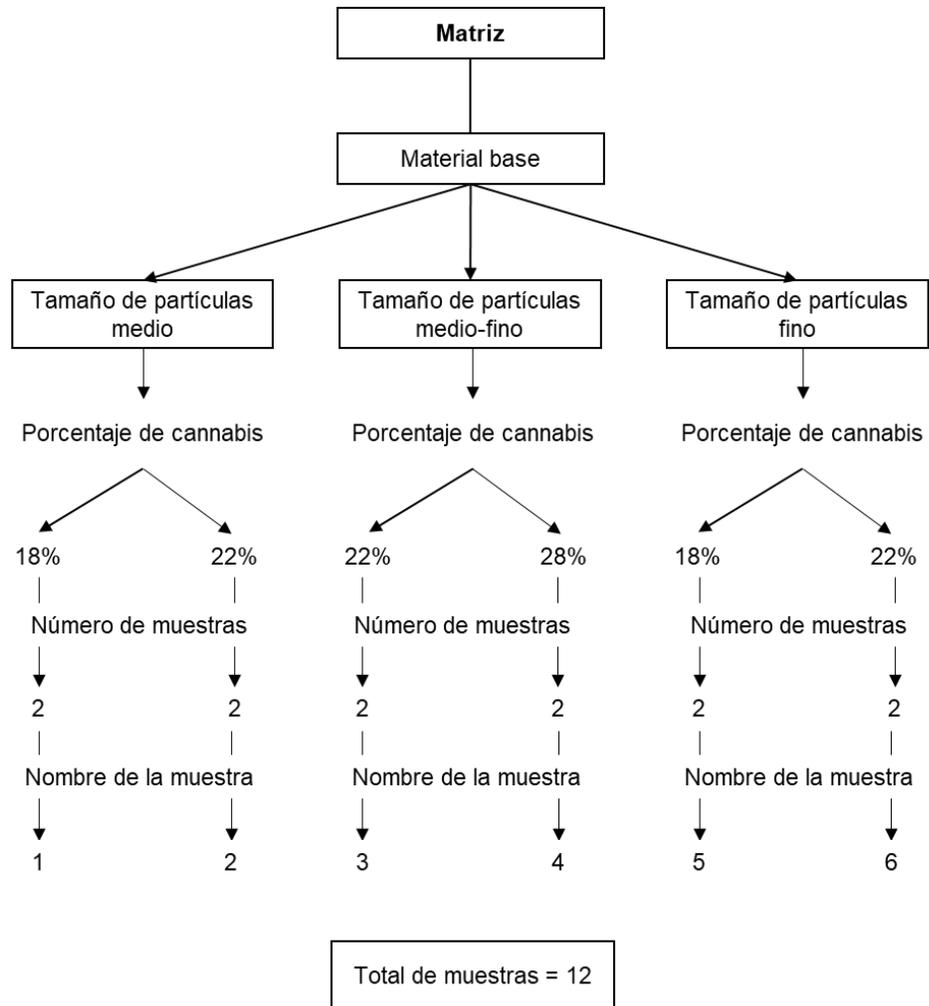
Fuente: Elaboración propia

El primer paso a seguir para establecer la matriz de muestras es tomar el material base y mezclarlo con tres porcentajes diferentes de cannabis, como se muestra en el Gráfico 3-10, luego este material y estos porcentajes se mezclan con los tres diferentes tamaños de partículas obtenidos en procesos anteriores.

En el Gráfico 3-11, se muestra la matriz de las muestras, la cual se elaboró para caracterizar las muestras por tamaño de partículas y porcentaje de cannabis, también para tener una organización de cada muestra y conocer el total de muestras a fabricar.

La matriz se organiza en primer nivel por el tamaño de las partículas a agregar al material base, tamaños medio, medio-fino y fino, lo que en primera instancia genera tres muestras diferentes. Luego a cada tamaño se le agregan dos muestras más que se caracterizan por el porcentaje de cannabis agregado a cada mezcla. Finalmente, a cada mezcla se le hace una réplica, para luego llevarlas a laboratorios para pruebas de temperatura y resistencia a la compresión.

**Gráfico 3- 11:** Matriz de muestras



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

El porcentaje de cannabis a agregar a las mezclas se toma teniendo en cuenta que el material base equivale al 100%, es decir, se toma como referencia que el material base es el 100% y el agregado de cannabis es el 18%, 22% y 28% de ese 100%.

Luego de tener los porcentajes a agregar de cannabis y de tener elaborado el material base, se toma de nuevo como referencia la mezcla completa (cal, agua y cannabis) para conocer el porcentaje de cada material y conocer las dosificaciones usadas en cada mezcla.

- **Listar implementos**

El siguiente paso a seguir para la fabricación de las muestras, es alistar los implementos necesarios para iniciar el proceso de fabricación. Este paso es importante antes de iniciar

con el proceso para no tener inconvenientes al momento de hacer las muestras, para no tener que abandonar el sitio de trabajo para buscar algo o pausar la fabricación porque falta un material.

Por esto, es importante hacer una lista de los implementos necesarios, desde el más mínimo hasta el más importante.

Los implementos necesarios para la fabricación de las muestras en este proyecto son: recipientes para hacer las mezclas, gramera para pesar cada uno de los materiales a mezclar, vara para mezclar, materiales a mezclar (cal hidratada, cannabis, agua), papel y lápiz para la recolección de datos, y finalmente los moldes para verter las mezclas. (Figura 3-23).

**Figura 3- 23:** Implementos utilizados en la fabricación de las muestras



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

▪ **Preparación de las mezclas**

Como se ha dicho anteriormente, después de identificar el material base y los porcentajes de cannabis a agregar, se establece un material final, que es la mezcla completa de cal hidratada, agua y cannabis. Luego se saca el porcentaje de cada material agregado teniendo en cuenta la mezcla final como un 100%.

Con base en la matriz establecida anteriormente, se tiene claridad de cuáles son las mezclas a preparar, con el porcentaje de cannabis y el tamaño de partícula agregado. (Tabla 3-7)

**Tabla 3- 7:** Dosificaciones en gramos de la mezcla cannabis, cal y agua

Nº.	Tamaño		Material base en gramos	Cannabis
-----	--------	--	-------------------------	----------

		% Material base	Cal	Operación	Agua	Mb total	%	Operación	Gramos
1	Medio	37 cal 63 agua	636	636 gr -- 37% X-----63%	1.083	1.719	18	1.719 g--100% X-----18%	309
2	Medio	37 cal 63 agua	590	590 gr -- 37% X-----63%	1.004	1.594	22	1.594 g--100% X-----22%	351
3	Medio-fino	37 cal 63 agua	590	590 gr -- 37% X-----63%	1.004	1.594	22	1.594 g--100% X-----22%	351
4	Medio-fino	37 cal 63 agua	560	560 gr -- 37% X-----63%	953	1.513	28	2.081 g--100% X-----28%	423
5	Fino	37 cal 63 agua	616	616 gr -- 37% X-----63%	1.050	1.666	18	1.666 g--100% X-----18%	300
6	Fino	37 cal 63 agua	616	616 gr -- 37% X-----63%	1.050	1.666	22	1.666 g--100% X-----22%	366

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

Luego de elaborar la Tabla 3-7 para conocer la cantidad en gramos de cada material a agregar a la mezcla, se elabora la Tabla 3-8 para conocer el porcentaje en el que se agrega cada material a la mezcla final de cada muestra.

**Tabla 3- 8:** Dosificaciones en porcentaje de la mezcla cannabis, cal y agua

N°.	Mezcla final (gr)				Mezcla final (%)			
	Cannabis	Cal	Agua	Total	Cannabis	Cal	Agua	Total
1	309	636	1.083	2.028	15,27	31,35	53,38	100
2	351	590	1.004	1.945	18,70	30,05	51,25	100
3	351	590	1.004	1.945	18,70	30,05	51,25	100
4	423	560	953	1.936	21,88	28,90	49,21	100
5	300	616	1.050	1.966	15,26	31,33	53,41	100
6	366	616	1.050	2.032	18,01	30,31	51,67	100

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

Después de establecer los porcentajes y los gramos de cada material en cada mezcla, se procede a la fabricación de las muestras, lo cual se describirá a continuación.

▪ **Fabricación y almacenamiento de las muestras**

Las muestras se fabricaron el día 16 de abril del presente año, el proceso de fabricación duró 4 horas aproximadamente. Como se mencionó anteriormente, el total de muestras fabricadas fueron 12, con 6 dosificaciones diferentes, las cuales se resumirán en la Tabla 3-9.

**Tabla 3- 9:** Muestras fabricadas

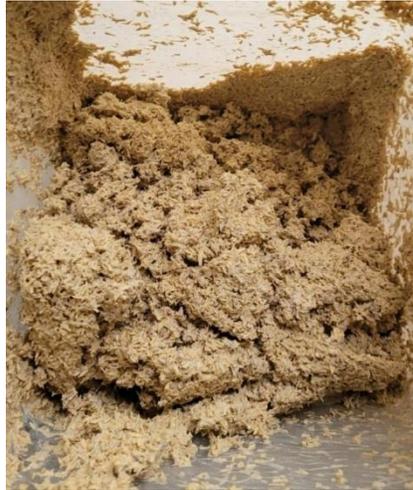
N°	% Cannabis	Tamaño de partícula	Dosificación en % (Cannabis/ Cal /Agua)	Peso húmedo cada muestra (gramos)	Días de secado	Peso seco (gramos)	Dimensiones en cm (largo/ancho/ alto)
1	18	Medio	15,257 /31,35 /53,4	1.014	32	483	12 x 12 x 6
2	22	Medio	18,7 /30 /51,25	973	32	468	12 x 12 x 6
3	22	Medio-fino	18,7 /30 /51,25	973	32	445	12 x 12 x 6
4	28	Medio-fino	21,88 /28,9 /49,21	968	32	385	12 x 12 x 6
5	18	Fino	15,26 /31,33 /53,4	983	32	508	12 x 12 x 6
6	22	Fino	18 /30,31 /51,67	1.016	32	511	12 x 12 x 6

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

Como se muestra en la Tabla 3-9, se realizaron 6 mezclas diferentes, las cuales se duplicaron para obtener un total de 12 muestras finalmente.

El proceso de elaboración de las muestras inició a las 14 horas. En las Figuras 3-24, 3-25 y 3-26 se muestra el proceso.

**Figura 3- 24:** Elaboración de las muestras



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

**Figura 3- 25:** Muestras vertidas en los moldes



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

**Figura 3- 26:** Almacenamiento de las muestras



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

A las 18 horas se finaliza el proceso de elaboración de muestras, se almacenan en un lugar para que se sequen a temperatura ambiente. Luego de 15 días, las muestras se

sacaron de los moldes para que pudieran secarse las partes que quedaban ocultas por los moldes. A los 32 días de haber sido fabricadas, las muestras se sacan para realizarles las pruebas correspondientes.

En la Figura 3-27 se ilustran cada una de las muestras después de los 32 días de secado y de ser extraídas de los moldes.

**Figura 3- 27:** Muestras después de los 32 días de secado

<p>Muestra:1 Porcentaje de cannabis: 18% Tamaño de partícula: medio</p>	<p>Muestra:2 Porcentaje de cannabis: 22% Tamaño de partícula: medio</p>	<p>Muestra:3 Porcentaje de cannabis: 22% Tamaño de partícula: medio-fino</p>
		
<p>Muestra:4 Porcentaje de cannabis: 28% Tamaño de partícula: medio-fino</p>	<p>Muestra:5 Porcentaje de cannabis: 18% Tamaño de partícula: fino</p>	<p>Muestra:6 Porcentaje de cannabis: 22% Tamaño de partícula: fino</p>
		

Fuente: Elaboración propia con base en imágenes tomadas en trabajo de campo

Como se puede ver en la Figura 3-27, la muestra número 6 se destrozó al sacarla del molde. Esto pudo ocurrir porque la mezcla no compactó bien y los materiales no tuvieron

buena adherencia entre sí, la cantidad de cannabis y por el tamaño de partícula agregada debido a la cantidad de cannabis utilizado y al tamaño de la partícula. También pudo ocurrir por un error al momento de verter la mezcla en el molde.

### 3.3 Pruebas realizadas

A continuación, se describen las dos pruebas realizadas a las muestras para determinar sus propiedades mecánicas.

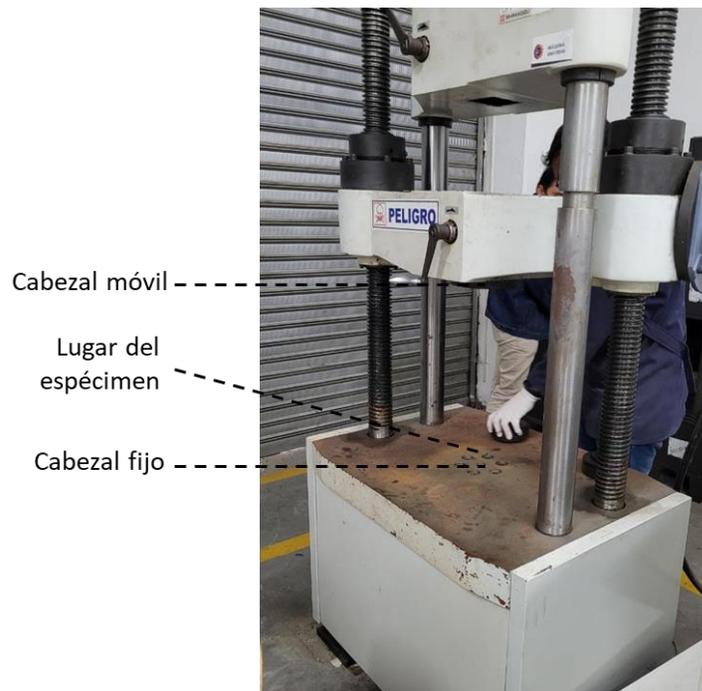
#### 3.3.1 Resistencia a la compresión

La prueba de resistencia a la compresión se realizó a cinco muestras diferentes (a la muestra número seis no se le realizó ninguna prueba debido a que se destrozó), con el fin de conocer en qué porcentaje de cannabis agregado y en que tamaño de partícula se adhiere mejor la muestra, permitiendo una compactación más firme del material generando una mayor resistencia.

La prueba fue realizada en la máquina de ensayo Universal UH-600kNI Shimadzu, perteneciente a la universidad de Pamplona, ubicada en el edificio de ingeniería mecánica. La carga aplicada se tomó en kN con una velocidad establecida de 4mm / minuto. El esfuerzo se tomó en N/mm<sup>2</sup> y la deformación en porcentaje (%).

La máquina Universal UH-600kNI Shimadzu, estaba compuesta por tres elementos, la máquina que ejerce la fuerza, en esta se ubica una mesa que contiene un cabezal móvil, un cabezal fijo y es donde se coloca el espécimen para la prueba. (Figura 3-28). Otro elemento perteneciente a la máquina es una unidad central de procesamiento, esto es lo que le permite a la máquina funcionar, le envía información para que esta pueda iniciar el proceso de compresión, es como el CPU en un computador. (Figura 3-29). Finalmente se encuentra un tercer elemento, es un computador que tiene el software que se conecta a la unidad de procesamiento para enviarle la información. (Figura 3-30). Antes de iniciar la prueba, se debe llenar una información sobre la muestra en el software instalado en el computador. Luego de llenar la información requerida, se inicia la prueba en el computador, el cual le envía la señal a la unidad de procesamiento y este la envía a la máquina.

**Figura 3- 28:** Máquina Universal Chimadzu UH-600kNI



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

**Figura 3- 29:** Unidad de procesamiento



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

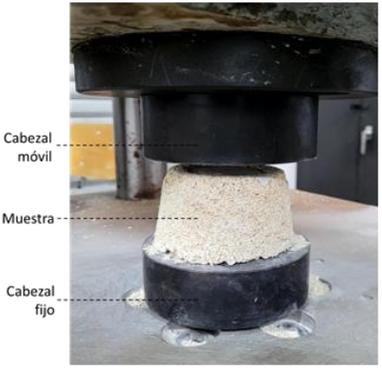
**Figura 3- 30:** Computador con el software utilizado para la prueba



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

En la Figura 3-31 se ilustran las muestras ubicadas en la máquina Universal, listas para realizarles los ensayos de resistencia a la compresión.

**Figura 3-31:** Muestras ubicadas en la máquina Universal

Esquema	Muestra:1 Medidas: 12cm x 12cm x 6cm	Muestra:2 Medidas: 12cm x 12cm x 6cm
		
<p>Muestra:3 Medidas: 12cm x 12cm x 6cm</p>	<p>Muestra:4 Medidas: 12cm x 12cm x 6cm</p>	<p>Muestra:5 Medidas: 12cm x 12cm x 6cm</p>
		

Fuente: Elaboración propia con base en imágenes tomadas en trabajo de campo

En la Figura 3-31, se puede ver cada muestra ubicada en el cabezal fijo, el cabezal móvil se mueve verticalmente hacia abajo aplicando la carga a la muestra, hasta que esta empieza a presentar roturas.

### 3.3.2 Aislamiento térmico

La prueba de temperatura realizó con el fin de determinar si el material creado a base de cannabis Sativa, tiene la propiedad de aislamiento térmico.

La prueba se realizó a las cinco muestras fabricadas, con el fin de determinar si el cannabis Sativa funcionaba como aislante térmico y conocer cual tamaño de partícula y porcentaje de cannabis agregado a la mezcla permite mejor aislamiento térmico. El tamaño de las muestras para esta prueba es de 5cm alto x 5cm ancho x 4 cm espesor. (Figura 3-32).

**Figura 3- 32:** Muestras listas para la prueba de temperatura



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

La prueba se realizó de forma artesanal debido a que en la universidad no está el equipo necesario para la realización de esta prueba. Con ayuda de un profesor, se elaboró un sistema que permitía conocer el cambio de temperatura antes y después del material. (Figura 3-33).

**Figura 3- 33:** Sistema utilizado para realizar la prueba de temperatura



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

El proceso realizado fue el siguiente: primero se cortaron las muestras a la medida del tubo rectangular de 2", las muestras quedaron con una medida de 5cm de alto x 5cm de ancho x 4 cm de espesor. Lo siguiente fue montar el sistema que se ilustra en la Figura 3-33, el cual consiste en una fuente que emite temperatura a la resistencia ubicada dentro del tubo, la resistencia se introdujo a un lado del tubo con el fin de generar calor.

En el centro del tubo se introdujo una muestra y luego se cerró cada abertura del tubo con dos tapas elaboradas para la prueba. Una cara del tubo se perforó en tres partes para introducir las termocoplas que miden la temperatura antes y después del material, y la termocupla que controla la temperatura enviando una señal a la fuente emisora para que se apague y deje de emitir calor cuando la temperatura interna llega al límite establecido.

Las dos termocoplas medidoras de temperatura antes y después del material se conectaron a un termómetro de termopar, el cual mostraba la temperatura presente en el tubo en las dos ubicaciones, una que estaba directa con el calor que emitía la resistencia y la otra estaba después de colocar la muestra. La otra termocupla, tenía la función de controlar el calor y enviar una señal a la fuente para apagarse cuando la temperatura llegara a un grado establecido. La fuente generaba calor y se podía graduar a los grados de temperatura necesarios para ir midiendo en un rango la temperatura presente en cada parte del tubo.

Cuando el sistema estuvo conectado, se encendió la fuente y se colocó el límite de temperatura en 30 °C, esto con el fin de que el calor emitido por la fuente a la resistencia

sea controlado y vaya subiendo según se gradúe. Este proceso se practicó con cada prueba.

### 3.4 Resultados

A continuación, se describen y se analizan los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión y aislamiento térmico realizadas a las muestras fabricadas.

En análisis estadístico de resultados, primero se considera cada muestra individualmente y después se realiza un análisis colectivo

#### 3.4.1 Resistencia a la compresión

Para calcular la resistencia a la compresión de cada muestra, se usa la fórmula establecida en la NTC 4017 (métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla). (Figura 3-34).

**Figura 3- 34:** Formula indicada en la NTC 4017 para calcular la resistencia a la compresión

$$\text{Resistencia a la compresión, } C = \frac{W}{A}$$

en donde

$C$	=	resistencia del espécimen a la compresión, en Pa x 10 <sup>4</sup> (ó kgf/cm <sup>2</sup> )
$W$	=	carga máxima (de rotura), en N (ó kgf), ó la indicada por la máquina de ensayo.
$A$	=	promedio de las áreas brutas de las superficies superior e inferior del espécimen, en cm <sup>2</sup>

Fuente: NTC 4017

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión realizado a las cinco muestras fue el siguiente:

- **Muestra número 1**

En la Tabla 3-10 se describe el resultado obtenido en la prueba de resistencia a la compresión realizada a la muestra número uno.

**Tabla 3- 10:** Resultados de la muestra número 1

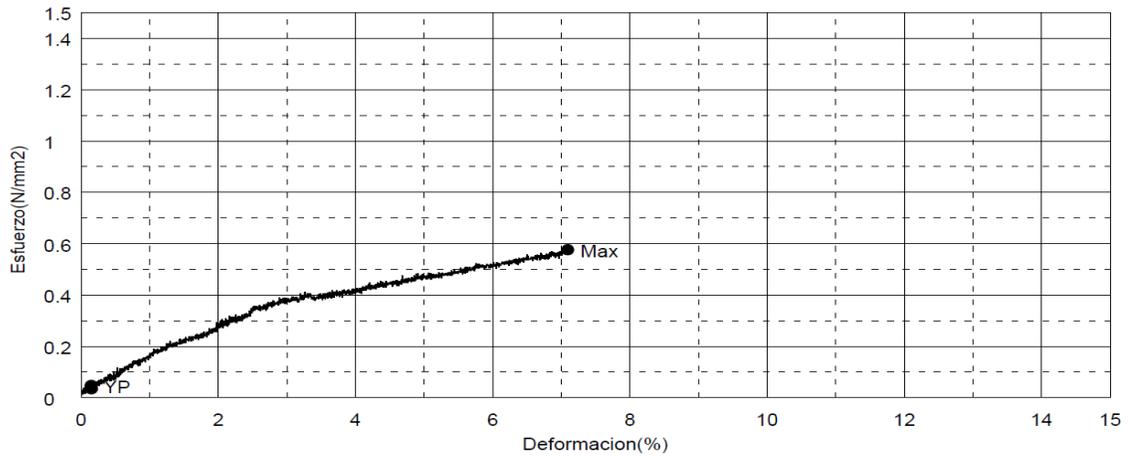
Nombre	Muestra número 1		
Dimensiones	Espesor	Anchura	Altura
Unidad de longitud	mm	mm	mm
Medidas	60	120	120

Nombre	Máxima carga	Máximo desplazamiento	Máximo esfuerzo	Máxima deformación
Unidades	kN	mm	N/mm2	%
Máximo	4,15312	8,514	0,57682	7,095

Fuente: Tabla generada por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

En la Tabla 3-10, se puede ver que la máxima carga aplicada a la muestra fue de 4,15 kN (423,49 kg) con un máximo desplazamiento de 8,51 mm. El máximo esfuerzo soportado fue de 0,58 N/mm2 (MPa) ocasionando una máxima deformación del 7,09%. (Gráfico 3-12).

**Gráfico 3- 12:** Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado



Fuente: Gráfico generado por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Para calcular la resistencia a la compresión de la muestra número 1 se emplea la fórmula:

$$C = \frac{W}{A}$$

$$C = \frac{423,49 \text{ kg}}{72 \text{ cm}^2}$$

$$C = 5,8818 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia a la compresión de la muestra número 1 fue de 5,8818 kgf/cm<sup>2</sup>, con una deformación del 7%. (Figura 3-35).

**Figura 3- 35:** Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

▪ **Muestra número 2**

En la Tabla 3-11 se describe el resultado obtenido en la prueba de resistencia a la compresión realizada a la muestra número dos.

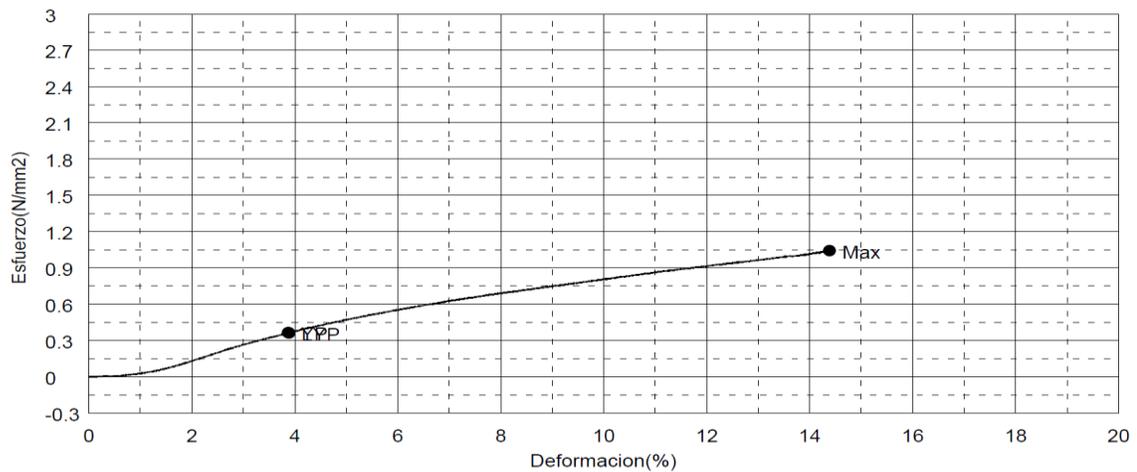
**Tabla 3- 11:** Resultados de la muestra número 2

Nombre	Muestra número 2		
Dimensiones	Espesor	Anchura	Altura
Unidad de longitud	mm	mm	mm
Medidas	60	120	120

Nombre	Máxima carga	Máximo desplazamiento	Máximo esfuerzo	Máxima deformación
Unidades	kN	mm	N/mm <sup>2</sup>	%
Máximo	7,51275	17,26	1,04344	14,3833

Fuente: Tabla generada por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Como se puede ver en la Tabla 3-11, la máxima carga aplicada a la muestra fue de 7,51 kN (766,06 kg) con un máximo desplazamiento de 17,26 mm. El máximo esfuerzo soportado fue de 1,04 N/mm<sup>2</sup> (MPa) ocasionando una máxima deformación del 14,38%. (Gráfico 3-13).

**Gráfico 3- 13:** Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado

Fuente: Gráfico generado por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Para calcular la resistencia a la compresión de la muestra número 2 se emplea la fórmula:

$$C = \frac{W}{A}$$

$$C = \frac{766,06 \text{ kg}}{72 \text{ cm}^2}$$

$$C = 10,64 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia a la compresión de la muestra número 2 fue de 10,64 kgf/cm<sup>2</sup>, con una deformación del 14,4%. (Figura 3-36).

**Figura 3- 36:** Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión

Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

▪ **Muestra número 3**

En la Tabla 3-12 se describe el resultado obtenido en la prueba de resistencia a la compresión realizada a la muestra número tres.

**Tabla 3- 12:** Resultados de la muestra número 3

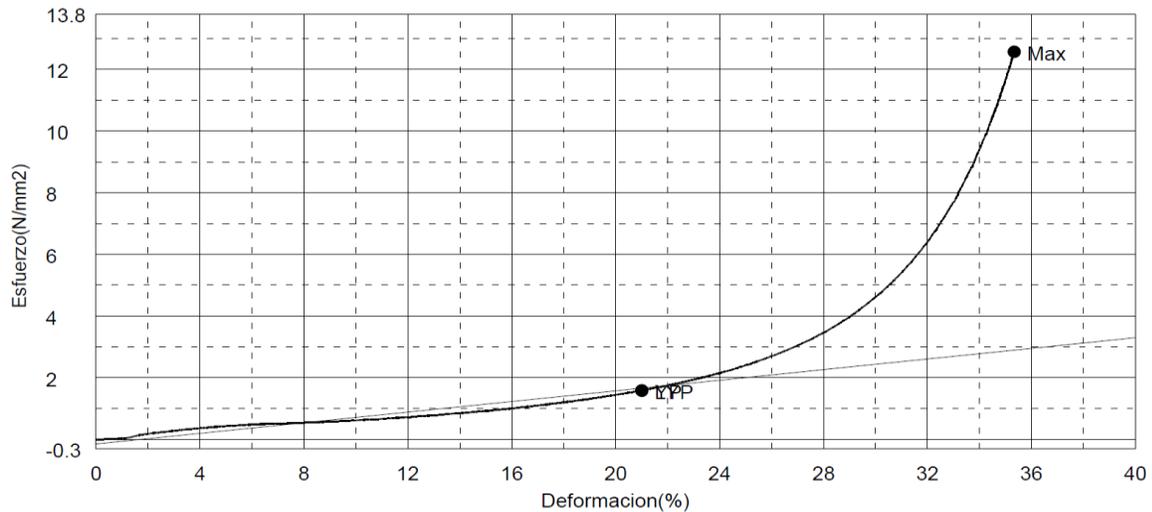
Nombre	Muestra número 3		
Dimensiones	Espesor	Anchura	Altura
Unidad de longitud	mm	mm	mm
Medidas	60	120	120

Nombre	Máxima carga	Máximo desplazamiento	Máximo esfuerzo	Máxima deformación
Unidades	kN	mm	N/mm <sup>2</sup>	%
Máximo	90,4987	42,4	12,5693	35,3333

Fuente: Tabla generada por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Como se puede ver en la Tabla 3-12, la máxima carga aplicada a la muestra fue de 90,4987 kN (9228,15 kg) con un máximo desplazamiento de 42,4 mm. El máximo esfuerzo soportado fue de 12,57 N/mm<sup>2</sup> (MPa) ocasionando una máxima deformación del 35,33%. (Gráfico 3-14).

**Gráfico 3- 14:** Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado



Fuente: Gráfico generado por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Para calcular la resistencia a la compresión de la muestra número 3 se emplea la fórmula:

$$C = \frac{W}{A}$$

$$C = \frac{9228,2 \text{ kg}}{72 \text{ cm}^2}$$

$$C = 128,17 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia a la compresión de la muestra número 3 fue de 128,17 kgf/cm<sup>2</sup>, con una deformación del 35,33%. (Figura 3-37).

**Figura 3- 37:** Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

Esta muestra se dejó más tiempo en la máquina, es decir, el ensayo no se detuvo con la primera rotura como en las demás muestras, al contrario, se dejó por más tiempo y se detuvo cuando se vio muy deformado.

▪ **Muestra número 4**

En la Tabla 3-13 se describe el resultado obtenido en la prueba de resistencia a la compresión realizada a la muestra número cuatro.

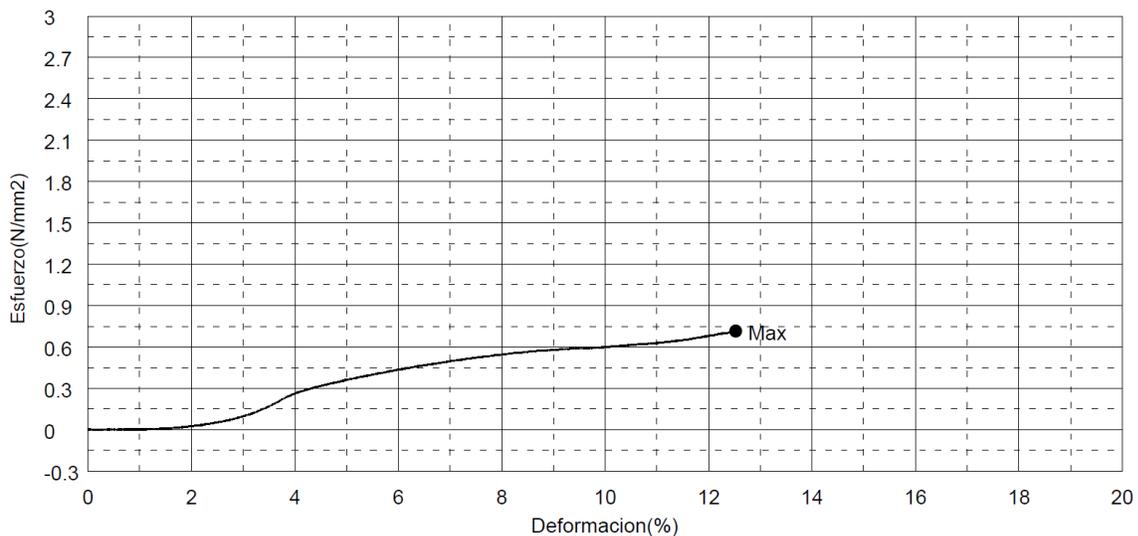
**Tabla 3- 13:** Resultados de la muestra número 4

Nombre	Muestra número 4			
Dimensiones	Espesor	Anchura	Altura	
Unidad de longitud	mm	mm	mm	
Medidas	60	120	120	
Nombre	Máxima carga	Máximo desplazamiento	Máximo esfuerzo	Máxima deformación
Unidades	kN	mm	N/mm <sup>2</sup>	%
Máximo	5,15287	15,032	0,71568	12,5267

Fuente: Tabla generada por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Como se puede ver en la Tabla 3-13, la máxima carga aplicada a la muestra fue de 5,15 kN (525,44 kg) con un máximo desplazamiento de 15,032 mm. El máximo esfuerzo soportado fue de 0,72 N/mm<sup>2</sup> (MPa) ocasionando una máxima deformación del 12,52%. (Gráfico 3-15).

**Gráfico 3- 15:** Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado



Fuente: Gráfico generado por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Para calcular la resistencia a la compresión de la muestra número 4 se emplea la fórmula:

$$C = \frac{W}{A}$$

$$C = \frac{525,44}{72} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$C = 7,2978 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia a la compresión de la muestra número 4 fue de 7,30 kgf/cm<sup>2</sup>, con una deformación del 12,52%. (Figura 3-38).

**Figura 3- 38:** Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

- **Muestra número 5**

En la Tabla 3-14 se describe el resultado obtenido en la prueba de resistencia a la compresión realizada a la muestra número cinco.

**Tabla 3- 14:** Resultados de la muestra número 5

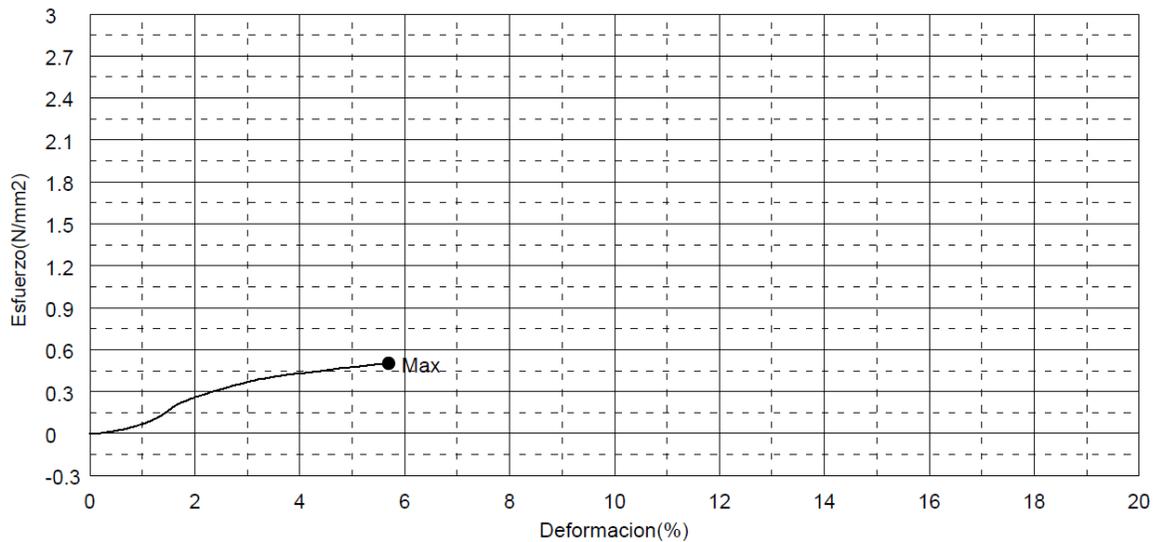
Nombre	Muestra número 5		
Dimensiones	Espesor	Anchura	Altura
Unidad de longitud	mm	mm	mm
Medidas	60	120	120

Nombre	Máxima carga	Máximo desplazamiento	Máximo esfuerzo	Máxima deformación
Unidades	kN	mm	N/mm <sup>2</sup>	%
Máximo	3,6165	6,834	0,50229	5,695

Fuente: Tabla generada por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Como se puede ver en la Tabla 3-14, la máxima carga aplicada a la muestra fue de 3,61 kN (368,77 kg) con un máximo desplazamiento de 6,834 mm. El máximo esfuerzo soportado fue de 0,50 N/mm<sup>2</sup> (MPa) ocasionando una máxima deformación del 5,7 %. (Gráfico 3-16).

**Gráfico 3- 16:** Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado



Fuente: Gráfico generado por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Para calcular la resistencia a la compresión de la muestra número 5 se emplea la fórmula:

$$C = \frac{W}{A}$$

$$C = \frac{368,77 \text{ kg}}{72 \text{ cm}^2}$$

$$C = 5,1218 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia a la compresión de la muestra número 5 fue de 5,12 kgf/cm<sup>2</sup>, con una deformación del 5,7 %. (Figura 3-39).

**Figura 3- 39:** Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

▪ **Muestra adicional – Ladrillo convencional de arcilla**

Además del ensayo de compresión realizado a las cinco muestras, se realizó uno adicional a un ladrillo convencional de arcilla cocida cortado a la mitad. En la Tabla 3-15 se describe el resultado obtenido en la prueba de resistencia a la compresión realizada al ladrillo de arcilla.

**Tabla 3- 15:** Resultados de la muestra número 5

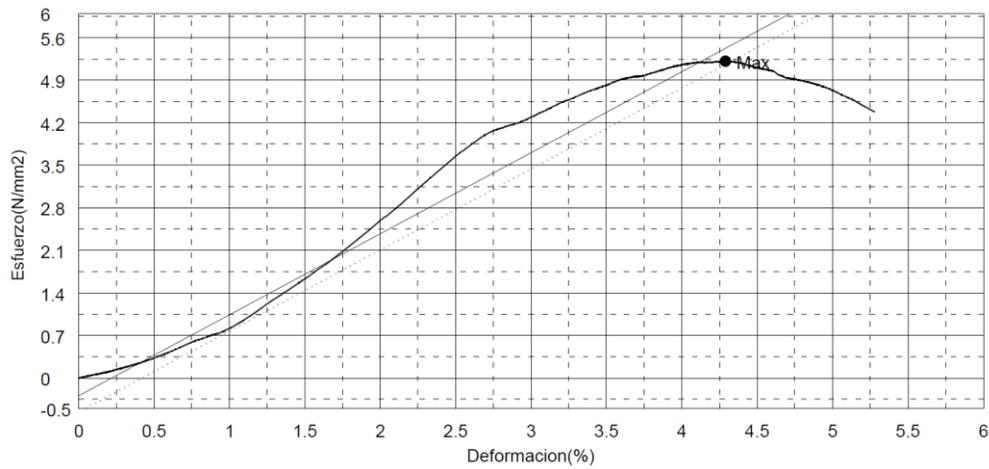
Nombre	Ladrillo de arcilla cocida		
Dimensiones	Espesor	Anchura	Altura
Unidad de longitud	mm	mm	mm
Medidas	58	120	120

Nombre	Máxima carga	Máximo desplazamiento	Máximo esfuerzo	Máxima deformación
Unidades	kN	mm	N/mm <sup>2</sup>	%
Máximo	36,1256	4,718	5,21293	4,28909

Fuente: Tabla generada por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Como se puede ver en la Tabla 3-15, la máxima carga aplicada a la muestra fue de 36,12 kN (3683,73 kg) con un máximo desplazamiento de 4,718 mm. El máximo esfuerzo soportado fue de 5,21 N/mm<sup>2</sup> (MPa) ocasionando una máxima deformación del 4,3 %. (Gráfico 3-17).

**Gráfico 3- 17:** Porcentaje de deformación por el esfuerzo soportado



Fuente: Gráfico generado por el software en el ensayo de resistencia a la compresión

Para calcular la resistencia a la compresión del ladrillo de arcilla se emplea la fórmula:

$$C = \frac{W}{A}$$

$$C = \frac{3683,7}{69,3} \text{ kg/cm}^2$$

$$C = 53,16 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia a la compresión del ladrillo de arcilla fue de 51,163 kgf/cm<sup>2</sup>, con una deformación del 4,3 %. (Figura 3-40).

**Figura 3- 40:** Espécimen después de la prueba de resistencia a la compresión



Fuente: Imagen tomada en trabajo de campo

- **Densidad de las muestras**

La NTC 4076 (ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto) clasifica las unidades de mampostería según su densidad. (Tabla 3-16). (Tabla 3-17).

**Tabla 3- 16:** Clasificación de las unidades de mampostería según su densidad

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Clasificación
< 1.680	De peso liviano
≥ 1.680 ≤ 2.000	De peso medio
> 2000	De peso normal

Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de la NTC 4076

**Tabla 3- 17:** Densidad de las muestras

Muestra	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (gr)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Clasificación
1	864	483	0,56	559,03	De peso liviano
2	864	468	0,54	541,67	De peso liviano
3	864	445	0,52	515,05	De peso liviano
4	864	385	0,45	445,60	De peso liviano
5	864	508	0,59	587,96	De peso liviano

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

### 3.4.2 Comparación de resultados – Ensayo de resistencia a la compresión

En la Tabla 3-18 se hace una compilación de los resultados obtenidos en las cinco muestras con cannabis y de la muestra de ladrillo cocido, para hacer un comparativo de la resistencia a la compresión de cada muestra.

A la tabla también se le agregan los datos de porcentaje de cannabis agregado a la mezcla y el tamaño de partícula utilizado. Con el fin de conocer la relación entre resistencia a la

compresión - tamaño de partícula y resistencia a la compresión - porcentaje de cannabis agregado.

Otro dato incluido en la tabla es la densidad de cada muestra, también con el fin de conocer la relación resistencia a la compresión – densidad de la muestra.

**Tabla 3- 18:** Compilación de resultados del ensayo de resistencia a la compresión

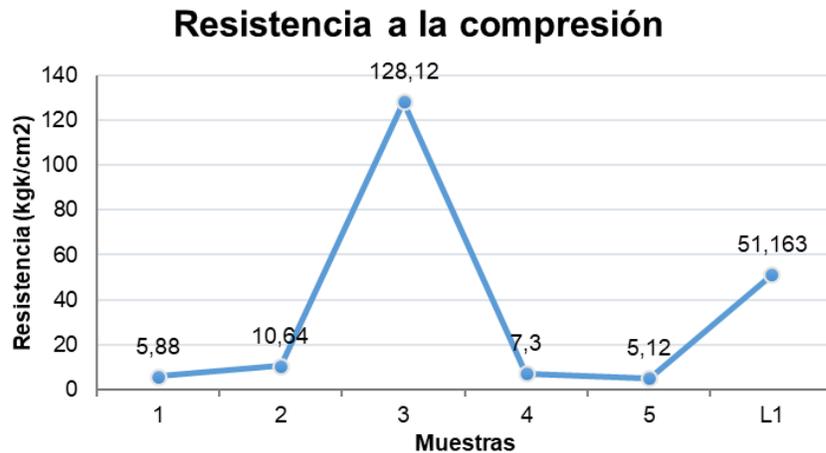
Muestra	Tamaño de partícula	Porcentaje de cannabis	Resistencia a la compresión			Densidad (kg/m3)	Porcentaje deformación
			Kgf/cm2	MPa (N/mm2)	PSI (lbf/in2)		
1	Medio	18	5,88	0,57	83,36	559,03	7
2	Medio	22	10,64	1,04	151,34	541,67	14,4
3	Medio-fino	22	128,12	12,57	1825,02	515,05	35,33
4	Medio-fino	28	7,3	0,71	103,83	445,60	12,52
5	Fino	18	5,12	0,5	72,82	587,96	5,7
L1	-	-	51,163	5,21	770,38	1795,98	4,3

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

▪ **Resistencia a la compresión**

Para exponer la resistencia a la compresión de todas las muestras, se elabora el Gráfico 3-18, el cual, permite visualizar y comprar rápidamente las muestras que presentan una mayor o una menor resistencia a la compresión.

**Gráfico 3- 18:** Resistencia a la compresión de las 6 muestras



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

Con el Gráfico 3-18, se logra identificar que las muestras 3 y L1 presentan una mayor resistencia a la compresión sobre las demás muestras, y que las muestras 1 y 5 presentan la menor resistencia.

Con lo anterior y tomando como base los requerimientos mínimos establecidos en la NTC-4205 para la resistencia a la compresión de unidades de mampostería estructural y no estructural se puede precisar que las muestras 1, 2, 4 y 5 no cumplieron la mínima resistencia a la compresión para poder ser usados en mampostería estructural y tampoco en mampostería no estructural. (Tabla 3-19).

La muestra 3, mostró una resistencia de 128 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual está dentro de los valores mínimos para unidades de mampostería no estructural.

Es importante destacar que al momento de la elaboración hubo factores que se deben tener en cuenta ya que pueden ser los causantes de estos resultados. Primero que todo, las muestras fueron compactadas manualmente y no se introdujeron a una prensa, lo que tal vez impidió que la mezcla se compactara completamente.

Otro factor, fue el almacenamiento de las muestras, ya que estas se mantuvieron dentro del molde de madera hasta los 22 días y solo se dejaron totalmente descubiertas por 10 días. Lo que posiblemente les impidió secarse totalmente.

**Tabla 3- 19:** Resistencia mínima para unidades de mampostería estructural y no estructural

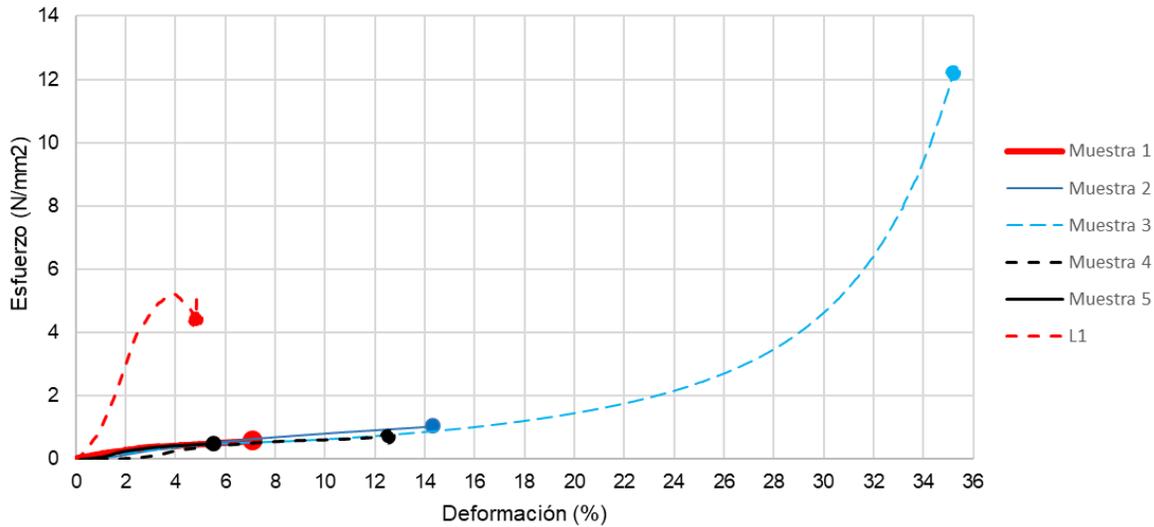
Tipo	Mampostería estructural		Mampostería no estructural	
	Resistencia mínima a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )		Resistencia mínima a la compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )	
	Promedio 5 unidades	Unidad	Promedio 5 unidades	Unidad
PH	50	35	30	20
PV	180	150	140	100
M	200	150	140	100

Fuente: NTC 4205

▪ **Resistencia a la compresión – porcentaje de deformación**

**Gráfico 3- 19:** Porcentaje de deformación por el esfuerzo máximo soportado

**Resistencia a la compresión**



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

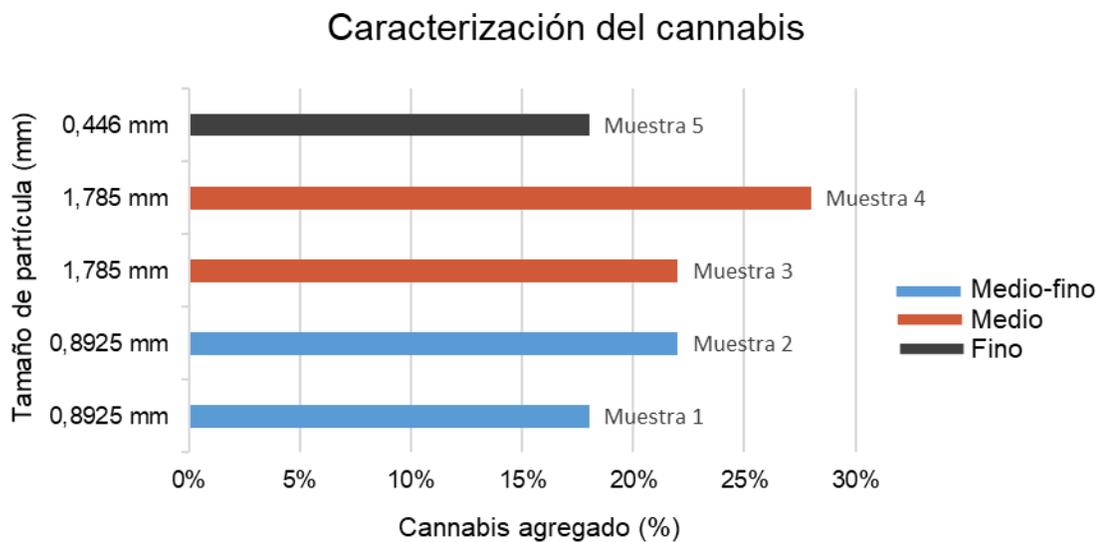
En el Gráfico 3-19, se hace un resumen de los 6 resultados obtenidos, midiendo el esfuerzo soportado por cada muestra y el porcentaje en el cual se deformó cada una. En este gráfico se puede ver que la muestra 3 soportó un esfuerzo mayor a las demás pruebas, lo que a su vez generó una deformación considerablemente alta, el 35,33 de la muestra sufrió esta alteración. También se logra ver que la muestra L1 soportó un esfuerzo menor que la

muestra 3, pero sufrió una deformación mucho más baja. Las muestras 1, 2, 4 y 5 resistieron menos esfuerzo que la muestra L1, pero aun así, se puede ver que presentaron una mayor deformación.

▪ **Caracterización del cannabis**

A continuación, se crea una gráfica para ilustrar el porcentaje de cannabis y el tamaño de partícula agregado a cada muestra. Y con base en esto, hacer un comparativo de cual porcentaje y cual tamaño presentó mejor resistencia a la compresión. (Gráfico 53-20).

**Gráfico 3- 20:** Relación tamaño de partícula y porcentaje de cannabis agregado

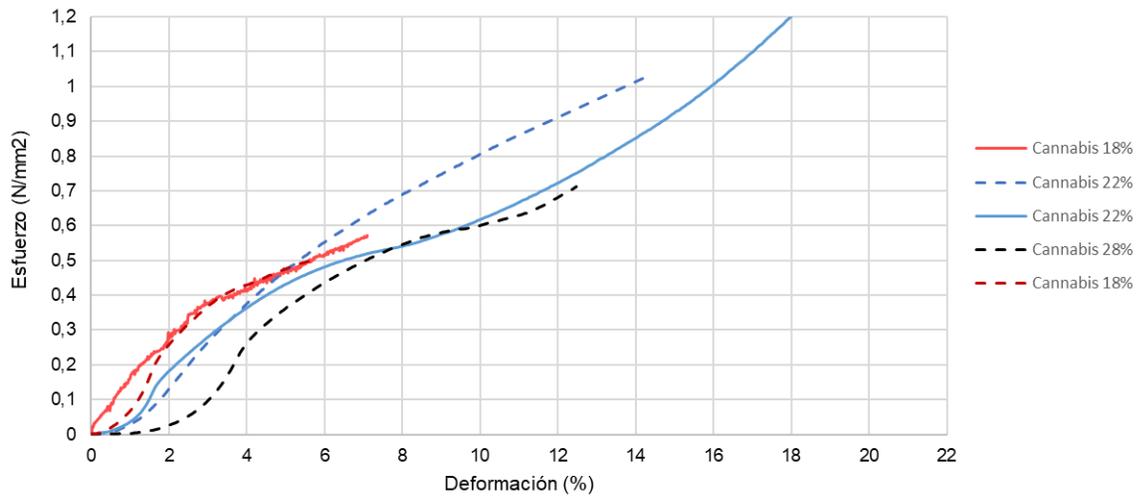


Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

Como se puede ver en el Gráfico 3-20, la muestra 4 es la que contiene mayor cantidad de cannabis 28%, con un tamaño de partícula medio; seguida por las muestras 2 y 3 con un porcentaje del 22% y tamaños de partícula medio-fino y medio. Las muestras número 1 y 5 contienen un 18% de cannabis y presentan tamaños medio-fino y fino.

Para conocer la relación: porcentaje de cannabis agregado y resistencia a la compresión, se elabora el Gráfico 3-21.

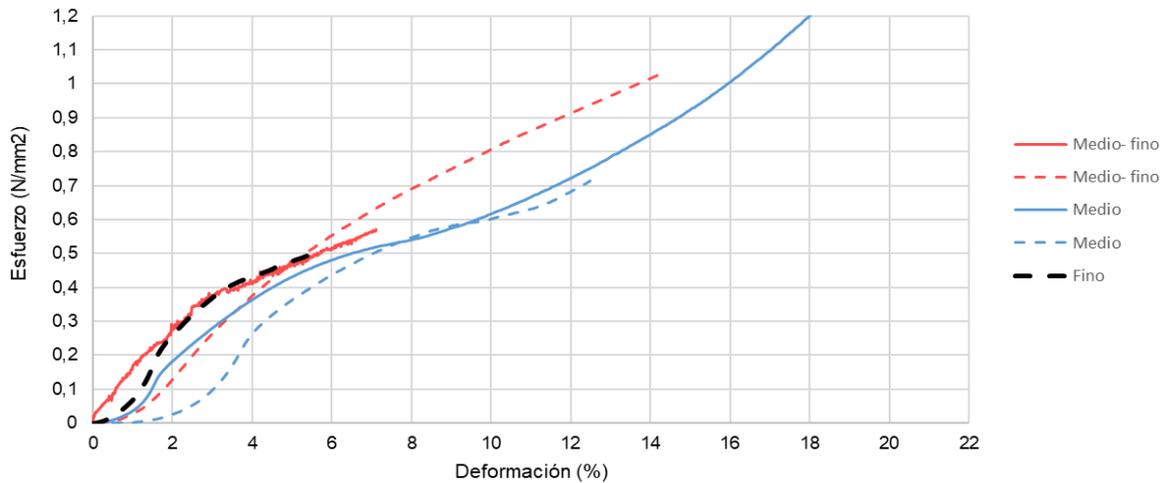
**Gráfico 3- 21:** Resistencia según el porcentaje de cannabis agregado



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

Para conocer la relación: tamaño de partícula de cannabis agregada y resistencia a la compresión, se elabora el Gráfico 3-22.

**Gráfico 3- 22:** Resistencia según el tamaño de partícula de cannabis agregado



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

En los gráficos 3-21 y 3-22, se puede relacionar el tamaño de partícula de cannabis y el porcentaje de cannabis agregado, con el resultado de resistencia a la compresión, con el fin de determinar qué caracterización de cannabis tuvo mejor comportamiento en la prueba y dio el mejor resultado. Los gráficos se disminuyeron para poder ver con más claridad los resultados de las muestras 1, 2, 4 y 5. El resultado de la muestra 3 no se ve en su totalidad,

pero se puede tomar como referencia el Gráfico 3-19, donde se logra ver claramente el resultado de la muestra 3.

La muestra 3 es la que mejores resultados obtuvo en la prueba de compresión realizada, y esta está compuesta por un porcentaje del 22% de cannabis y un tamaño de partícula medio (1,785 mm). Entonces, se podría decir que el cannabis agregado en un 22% con un tamaño de grano medio, otorga mejores propiedades a la mezcla que un cannabis agregado en una proporción del 28% y 18%. También el tamaño de la partícula agregado es de gran importancia en la mezcla, como se pudo ver en los resultados, el tamaño medio tuvo mejor resistencia que los demás tamaños.

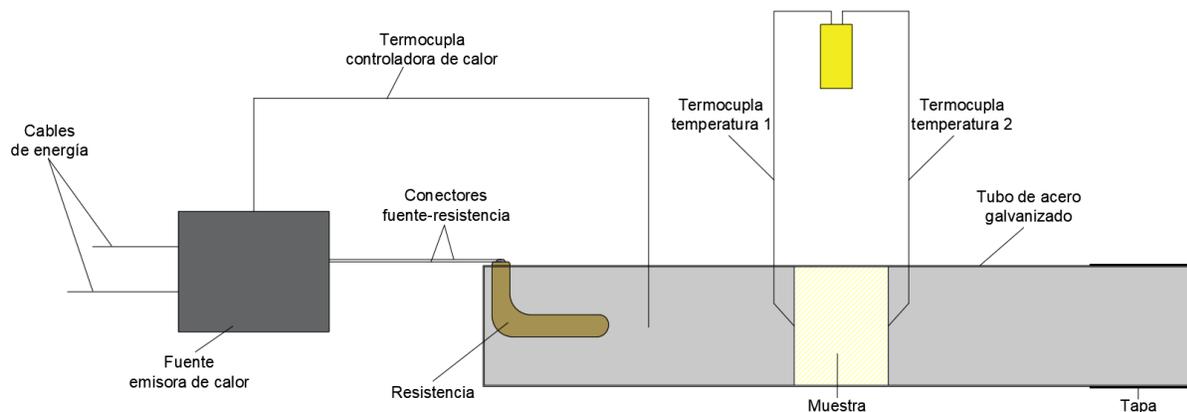
Del mismo modo se pudo ver que la muestra 2, tuvo el segundo lugar en resistencia a la compresión y también presenta un porcentaje de cannabis del 22%. En cuanto al tamaño de partícula, se puede ver que la muestra 2 cuenta con un tamaño de partícula medio-fino, lo que nos permite concluir que el tamaño de partícula fino es el que menos resistencia presenta, es decir, que una mezcla elaborada con un tamaño de partícula muy fino, no aportaría propiedades de resistencia.

### **3.4.3 Aislamiento térmico**

Como se mencionó anteriormente, la prueba de temperatura fue realizada de forma artesanal, donde se montó un sistema. Este sistema consistía en un tubo de 2" rectangular, en el cual se ingresaba la muestra hasta la mitad, luego se cerraba el tubo con dos tapas realizadas especialmente para sellar el tubo. Después se mandaba calor a una resistencia que también se encontraba dentro del tubo, pero a un lateral, el calor era transmitido por una fuente que tenía un controlador para que esta no se calentara de más. El controlador le mandaba la señal a la fuente de dejar de transmitir calor por medio de una termocupla que se introdujo por una cara del tubo, esta termocupla tenía la función de medir la temperatura cerca de la resistencia y mandar la señal de apagado o encendido a la fuente según la temperatura que se graduara en esta.

En las dos caras de la muestra, una que daba a la resistencia y otra hacia la otra salida del tubo, se colocaron dos termocuplas con la función de medir la Temperatura 1 (cara de la muestra que estaba al lado de la resistencia) y la Temperatura 2 (cara de la muestra que daba a la otra salida del tubo). Con esto, se pudo obtener datos de las diferencias en las temperaturas 1 y 2 con un rango de tiempo.

**Gráfico 3- 23:** Procedimiento para pruebas de temperaturas



Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

Después de realizadas las pruebas, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3- 20:** Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 1

Fuente (°C)	Temp. 1 (°C)	Temp. 2 inicial (°C)	Rango de tiempo (seg.)	Temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.1 y temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.2 inicial y temp. 2 final (°C)
30	26,9	20,3	60	21,6	5,3	1,3
40	32,6	22,1	60	23,4	9,2	1,3
50	39,8	23,6	60	24,3	15,5	0,7
60	48,6	24,6	60	25,4	23,2	0,8
70	53,8	25,6	60	26,5	27,3	0,9
90	67,5	26,8	60	28	39,5	1,2
110	86,1	28,5	60	29,8	56,3	1,3
130	99	31,9	60	33,6	65,4	1,7

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

**Tabla 3- 21:** Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 2

Fuente (°C)	Temp. 1 (°C)	Temp. 2 inicial (°C)	Rango de tiempo (seg.)	Temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.1 y temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.2 inicial y temp. 2 final (°C)
30	26,9	20,8	60	21	5,9	0,2
40	32,6	21,3	60	21,3	11,3	0
50	39,8	21,4	60	21,5	18,3	0,1
60	48,6	21,6	60	22,6	26	1

70	53,8	23,4	60	25,8	28	2,4
90	67,5	26,2	60	28	39,5	1,8
110	86,1	28,9	60	31,4	54,7	2,5
130	99	29,8	60	32,3	66,7	2,5

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

**Tabla 3- 22:** Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 3

Fuente (°C)	Temp. 1 (°C)	Temp. 2 inicial (°C)	Rango de tiempo (seg.)	Temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.1 y temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.2 inicial y temp. 2 final (°C)
30	26,9	19,1	60	19,1	7,8	0
40	32,6	19,3	60	19,6	13	0,3
50	39,8	19,7	60	20,1	19,7	0,4
60	48,6	20,6	60	21,3	27,3	0,7
70	53,8	21,6	60	22,8	31	1,2
90	67,5	23,8	60	25,2	42,3	1,4
110	86,1	27,8	60	28,9	57,2	1,1
130	99	30,9	60	32,1	66,9	1,2

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

**Tabla 3- 23:** Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 4

Fuente (°C)	Temp. 1 (°C)	Temp. 2 inicial (°C)	Rango de tiempo (seg.)	Temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.1 y temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.2 inicial y temp. 2 final (°C)
30	26,9	18,3	60	18,5	8,4	0,2
40	32,6	18,6	60	18,9	13,7	0,3
50	39,8	19	60	19,3	20,5	0,3
60	48,6	20,4	60	21,1	27,5	0,7
70	53,8	21,2	60	22,5	31,3	1,3
90	67,5	24,2	60	25	42,5	0,8
110	86,1	25,7	60	28	58,1	2,3
130	99	29	60	31,3	67,7	2,3

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

**Tabla 3- 24:** Resultados obtenidos en la prueba de temperatura a la muestra 5

Fuente (°C)	Temp. 1 (°C)	Temp. 2 inicial (°C)	Rango de tiempo (seg.)	Temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.1 y temp. 2 final (°C)	Diferencia temp.2 inicial y temp. 2 final (°C)
30	26,9	22,1	60	22,2	4,7	0,1
40	32,6	22,6	60	22,9	9,7	0,3

50	39,8	23,3	60	24,3	15,5	1
60	48,6	24,6	60	25	23,6	0,4
70	53,8	25,2	60	25,5	28,3	0,3
90	67,5	26	60	28,1	39,4	2,1
110	86,1	28,1	60	30	56,1	1,9
130	99	30,3	60	32,6	66,4	2,3

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo realizado

En las tablas 3-20, 3-21, 3-22, 3-23 y 3-24 se describen los resultados que se obtuvieron en la prueba de temperatura realizada a las cinco muestras.

En la primera columna se anotaron las temperaturas que emite la fuente a la resistencia, se inició tomando un rango de 10°C por cada dato tomado, y al final se subió a un rango de 20°C por dato tomado. En la columna dos, se tomaron los datos de la Temperatura 1 que es la termocupla que toca la cara de la muestra que está de frente a la resistencia. La tercera columna contiene la Temperatura 2 inicial, que es la termocupla que toca la cara de la muestra que está contraria a la resistencia, se define como inicial porque es la que se toma primero, luego, después de un periodo de 60 segundos, se toma la temperatura final, para conocer cuántos grados cambia la temperatura después de ese tiempo.

En todos los resultados, se puede ver que la diferencia entre la temperatura 1 y la Temperatura 2 final va aumentando a medida que la temperatura de la fuente aumento, esto quiere decir que cuando la fuente emite calor, este llega directamente a la termocupla 2, por esto el aumento en la Temperatura 2 es más rápido a diferencia de la Temperatura 2, que es el espacio que está aislado con la muestra.

Se puede determinar, observando las tablas anteriores, que el material funciona como aislante térmico, ya que mantiene la temperatura, no cambia la temperatura de una forma rápida, sino al contrario el proceso es muy lento lo que permite que el calor no invada totalmente un espacio de forma acelerada.

También, es notorio que las muestras 1 y 3 son las que mantienen cambios constantes entre la Temperatura 2 inicial y final, es decir, después de los 60 segundos, la temperatura no presenta cambios extremadamente fuertes, ni aumentos demasiado altos.

En definitiva, y con los resultados obtenidos en esta prueba, se puede afirmar que el material creado a partir de los tallos del cannabis presenta propiedades aislantes, sin importar el tamaño de las partículas usadas.

### **3.5 Síntesis**

En este capítulo se puede visualizar la parte proyectual del proyecto, donde se acerca un poco más la investigación a la realidad para conocer los pros y contras y determinar si es viable su implementación.

En el caso de este proyecto, se muestran las etapas de un cultivo de cannabis, donde se puede conocer más sobre esta planta y se puede demostrar que es una planta que no requiere muchos cuidados agrícolas, es decir, con un terreno con los factores ambientales necesarios y buen riego, se puede obtener un cultivo de cannabis con un excelente desarrollo, este cultivo no requiere de mucho cuidado ni de la aplicación de químicos para su protección ya que es un cultivo que tolera las plagas, aunque estas lo ataquen, no afectan su desarrollo.

También se puede ver que para iniciar un cultivo es importante tener una planeación, hacer una planificación de lo que se debe y se quiere hacer para tener los mínimos imprevistos posibles y poder obtener los resultados deseados al terminar el periodo de cultivo de la planta. Luego de la planificación se procede a adecuar el terreno para la siembra, en la adecuación del terreno se realizan actividades como fumigación, arado de la tierra, limpieza y nivelación del terreno para conseguir que sea uniforme. Luego sigue la siembra y la germinación, en este proceso es importante regar bien el suelo donde fue sembrada la semilla para que la planta pueda absorber una buena cantidad de agua y esto permita que la germinación sea más sencilla y se logre homogeneidad en todas las semillas. Luego sigue el control y seguimiento del cultivo, en esta etapa se tiene en cuenta el proceso de riego y de aplicación de nutrientes al suelo para darle fuerza y resistencia a las plantas; finalmente se realiza la etapa de cosecha que es donde se cosechan las plantas para seguir con el proceso de extracción de la fibra.

Por otra parte, después del análisis descriptivo sobre el cannabis, sus cultivos y los implementos necesarios, se orienta la investigación hacia la experimentación.

Se inicia el proceso de elaboración, pruebas y resultados de 12 muestras de eco-ladrillos elaboradas con la mezcla de cannabis, cal y agua. Estas muestras fueron fabricadas con el propósito de realizarles pruebas de resistencia a la compresión y de temperatura.

En este capítulo se ilustra el paso a paso llevado a cabo desde la obtención de la materia prima hasta la realización de las pruebas de resistencia y temperatura a cada muestra. La caracterización de la materia prima por tamaños fue un punto clave para este proceso, y como se conoció en los resultados, el tamaño de partícula agregado a la mezcla influye en las propiedades mecánicas que se pueden presentar en los ladrillos. Según el tamaño de partícula agregado, la mezcla puede tener o no una mejor compactación y por consiguiente una mejor resistencia a la compresión. Según los resultados obtenidos en la prueba de resistencia, el tamaño de partícula adecuado para este tipo de mezclas es un tamaño medio, como se pudo ver en los resultados, las dos muestras con este tamaño de partícula tuvieron mejor resistencia, y contrario a esto, las muestras elaboradas con tamaño muy fino presentaron poca resistencia, y poca adherencia entre sí, lo que no permitió una buena compactación.

Otro punto clave para la elaboración de las muestras fue elaborar la dosificación más óptima. Para esto, inicialmente se realizaron 3 muestras pequeñas con 3 dosificaciones diferentes, la muestra que presentó una mejor compactación, se tomó como base para la preparación de la mezcla, de la cual se extrajo el material base (cal y agua), es decir, la mezcla se separó, se tomó solo el porcentaje de agua y de cal como el 100% de la mezcla, luego se sacó el porcentaje de agua y cal (material base) teniendo conocimiento que este equivalía a un 100%. Teniendo el material base, el cual dio como resultado: 63% de contenido de agua y 37% de cal, se elaboró una matriz de mezclas para establecer la cantidad de muestras a realizar y la caracterización de cada una. Luego de establecer el material base, se propusieron tres porcentajes diferentes de cannabis a agregar, 18%, 22% y 28%, y al mismo tiempo, tres tamaños diferentes de partículas medio, medio-fino y fino. Teniendo clara esta información, se elaboró la matriz y se determinó el total de muestras a elaborar y las características que iba a tener cada una.

Luego de fabricar las muestras, se almacenaron por un periodo de 32 días para luego llevarlas a un ensayo de resistencia a la compresión. Lo cual dio como resultado que las muestras con un porcentaje medio de cannabis (22%) y un tamaño de partícula medio

(1,785 mm) presentaron mejor resistencia, y las muestras con un tamaño de partícula muy fino (0,446 mm) o un porcentaje muy alto de cannabis (28%), presentaron menos resistencia. Con los resultados obtenidos en esta prueba, se estableció que los ladrillos de cannabis pueden ser usados como unidades de mampostería no estructural. Claro que esto está sujeto a posibles y a posibles futuras investigaciones.

En cuanto a la prueba de temperatura, se logró precisar que el cannabis tiene propiedades térmicas, sin importar el tamaño de partícula, la fibra de cannabis es una buena opción al momento de querer aislar la temperatura de un espacio.

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

#### 4.1.1 Conclusiones objetivo general

- Se lograron fabricar 12 muestras (eco-ladrillos), con dosificaciones diferentes en relación a la cantidad de cannabis agregado y el tamaño de partícula utilizado. A las cuales se les realizó un ensayo de resistencia a la compresión y una prueba de temperatura.

Los resultados obtenidos muestran que tanto la relación material base/porcentaje de cannabis y como el tamaño de las partículas agregadas si tienen influencia sobre las propiedades del biocompuesto. El resultado de la prueba de compresión no es tan favorable ya que solo una muestra parece tener la resistencia mínima para ser considerada como una unidad de mampostería no estructural.

Aunque, es importante mencionar que al momento de la fabricación de las muestras hubo factores que se deben tener en cuenta ya que pueden ser los causantes de estos resultados. Primero que todo, las muestras fueron compactadas manualmente y no se introdujeron a una prensa, lo que tal vez impidió que la mezcla se compactara completamente. Otro factor, fue el almacenamiento de las muestras, ya que estas se mantuvieron dentro del molde de madera hasta los 22 días y solo se dejaron totalmente descubiertas por 10 días. Lo que posiblemente les impidió secarse totalmente. Esto pudo haber influido en los resultados, por lo que se puede decir que, si el proceso de fabricación se lleva a cabo de manera correcta, los resultados pueden ser mejores.

- Al comparar el resultado de resistencia a la compresión del ladrillo de arcilla (51,163 kgf/cm<sup>2</sup>) con el eco-ladrillo de cannabis, se puede señalar que, aunque la muestra 3 tuvo una resistencia más alta (128,12 kgf/cm<sup>2</sup>), el ladrillo de arcilla sufrió una mínima deformación (4,3%) mientras que la muestra 3 presentó una deformación del 35,33%, lo que es desfavorable para el eco-ladrillo.
- En la prueba de temperatura, todos los resultados obtenidos fueron favorables para el eco-ladrillo. En todas las muestras se refleja una diferencia alta entre la Temperatura 1 (antes del aislamiento) y la Temperatura 2 (después del aislamiento).
- En conclusión, se podría decir que el eco-ladrillo fabricado con tallos de cannabis puede ser una buena alternativa para la construcción de módulos de mampostería no estructural, con un enfoque sostenible.

#### **4.1.2 Conclusiones objetivo específico 1**

- Los aspectos teóricos analizados, precisan el material creado a partir de fibras de cannabis como un material sostenible y respetuoso con el medio ambiente, ya que en todo su proceso (extracción de la materia prima, fabricación del material, empleo y final de su vida útil) el material no presenta altos consumos energéticos ni genera desechos, al contrario, los cultivos de cannabis tienen gran capacidad de absorción de CO<sub>2</sub>, aun después de fabricado el material, esta propiedad sigue presente.
- El cultivo de cannabis y la fabricación de derivados son legales en Colombia desde el año 2017.
- Actualmente, en varios países de Europa y en Estados Unidos, se usa el cannabis Sativa en la construcción de viviendas, con un material llamado HempCrete.

### **4.1.3 Conclusiones objetivo específico 2**

- Las fibras obtenidas de los tallos de las plantas de cannabis, son fibras totalmente naturales y ecológicas que permiten la creación de un material constructivo sostenible.
- Norte de Santander presenta los aspectos ambientales ideales para cultivos de plantas de cannabis con un óptimo desarrollo
- En Norte de Santander, las empresas de cultivos de cannabis solo utilizan la flor, es decir, hacen el proceso de siembra para la obtención de flor y lo que resta de la planta es desechado. Además de la flor, una planta de cannabis produce 70 gramos de tallos y ramas utilizables, esto equivale a 182.000 gramos de materia prima por un cultivo de 1000 m<sup>2</sup> de cannabis (cultivos dedicados a la extracción de flor), lo cual significa que cada empresa en Colombia dedicada a la obtención de flor produce y desecha aproximadamente 182 kg de materia prima por cada 1.000 m<sup>2</sup> sembrados, que puede ser utilizada por la industria de la construcción. Lo que significa que, implementando la utilización del cannabis como material constructivo se puede aprovechar la materia prima desechada.

### **4.1.4 Conclusiones objetivo específico 3**

- Con los resultados obtenidos en la prueba de temperatura, se puede determinar que el material fabricado a partir de fibras de cannabis, es óptimo y permite construcciones de módulos de mampostería con aislamiento térmico sin necesidad de usar un aislamiento adicional.
- En cuanto a los resultados de resistencia a la compresión, se podría decir que el material puede ser usado en la construcción de módulos de mampostería no estructural.

## **4.2 Recomendaciones**

- Para la realización de investigaciones futuras sobre el cannabis Sativa como material constructivo, se recomienda contar con todos los implementos necesarios

al momento de fabricar el material, para fabricarlo de forma correcta y no tener dificultades al momento de realizar pruebas. Es importante que el material tenga una buena compactación, por lo que lo mejor es usar una prensa y dejarlos secar al aire libre, sin moldes que impidan un secado del 100%.

- Como se pudo ver en este proyecto, el porcentaje de cannabis agregado a la mezcla tiene influencia en las propiedades de resistencia a la compresión, por lo que se recomienda que el porcentaje sea entre un 20 – 25%, debido a que, si se agrega mucho, la mezcla no se adhiere bien y quedan partículas sueltas y el material tiende a desmoronarse.
  
- También es importante tener en cuenta el tamaño de la partícula agregada, una partícula muy fina puede afectar las propiedades de resistencia.

# Bibliografía

- **Bibliografía de libros y artículos científicos**

Alfonso, N. (2014). *Principales Normas Ambientales Colombianas*. Universidad EAN. Ediciones EAN.  
<https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/1615/NormasAmbientales.pdf?sequence=1>

Arroyave, M & Marulanda, F (2019). *Ecoemprendimiento, sostenibilidad y generación de valor*. Revista EAN, núm. 87, pp. 155-172. Universidad EAN.  
<https://www.redalyc.org/journal/206/20663246009/html/>

Bermúdez Rojas, J, Cifuentes Baquero, M y Daza Gómez, M. (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 Bogotá*. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.  
<https://repositorio.unicolmayor.edu.co/handle/unicolmayor/3620#:~:text=En%20cuanto%20a%20la%20resistencia,m%C3%A1xima%20que%20sea%20%E2%89%A450.>

Biera, M. (2017). *Construcción sostenible con contenedores*. [Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla]. España. <https://hdl.handle.net/11441/72329>

Campo, L; Amar, P; Olivero, E & Huguet, S (2018). *Emprendimiento e innovación como motor del desarrollo sostenible: Estudio bibliométrico (2006- 2016)*. Revista de Ciencias Sociales (Ve), vol. XXIV, núm. 4, Universidad del Zulia, Venezuela.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28059581003>

Carvalho, M. (2015). *Herramienta de certificación para la Bioconstrucción*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura en Madrid]. España.  
[https://oa.upm.es/40374/1/MARCIA\\_LUIZA\\_DE\\_CARVALHO\\_KLINGELF\\_US.pdf](https://oa.upm.es/40374/1/MARCIA_LUIZA_DE_CARVALHO_KLINGELF_US.pdf)

Cortes, D., Parra, T & Peña, M. (2018). *Plan de manejo ambiental para la industria ladrillera, caso asociación de ladrilleros de Pitalito Huila “ASOLAPIH”*. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. 15(2):43-47. Universidad de Pamplona. Pamplona.

- Dávila, H. (2021). Perfiles. Número 25 Vol.1. ISSN 2477-9105.  
[http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/14601/1/per\\_n25\\_v1\\_06.pdf](http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/14601/1/per_n25_v1_06.pdf)
- Del Cisne Z, G. & Castro, J. (2020). *Arquitectura Bioclimática*. Polo del Conocimiento, Vol. 5, No. 3. <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v5i3.1381>
- Departamento de Derecho del Medio Ambiente. (2021). Curso de verano Novedades universales del Derecho del medio ambiente. Universidad Externado de Colombia. Colombia. <https://medioambiente.uexternado.edu.co/evento/curso-de-verano-novedades-universales-del-derecho-del-medio-ambiente/>
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *Evaluación realizada en 2017 por el DNP a la política de prevención y control de la contaminación del aire*. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/DNP-revela-que-51-de-los-colombianos-percibe-la-contaminaci%C3%B3n-del-aire-como-el-mayor-problema-ambiental.aspx>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Fichas y Tableros, Norte de Santander*. TerriData. <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/54099>
- Departamento de Norte de Santander. (8 de febrero de 2015). *Atlas Geográfico*. <https://atlasgeografico.net/departamento-de-norte-de-santander.html>
- Fassio, A. Rodríguez, M. & Ceretta, S. (2013). *Cáñamo (Cannabis Savita L)*. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA.
- Franco, J & Loyo, P & Sánchez, A (2020). La Implementación Del Tributo Verde, Como Elemento Que Contribuye Al Fomento De La Cultura Verde. Revista de Investigación en Ciencias de la Administración ENFOQUES. ISSN: 2616-8219. <https://www.redalyc.org/journal/6219/621968093003/621968093003.pdf>
- Gareca, M., Andrade, M., Pool, D., Barrón, F, & Villarando, H-. (2020). *Nuevo material sustentable: ladrillos ecológicos a base de residuos inorgánicos*. Revista Ciencia, Tecnología e
- Gulh, E. (2016.) *Colombia: bosquejo de su geografía tropical*. Volumen I. Universidad de los Andes, Digitalia. <https://www-digitaliapublishing-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/a/52212>
- IDEAM. (2018). *Estudio Nacional del Agua 2018*. <https://cta.org.co/biblionet/estudio-nacional-del-agua-2018/>
- IDEAM. (2015). *Contaminación atmosférica: Calidad del aire*. <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire#:~:text=A%20nivel%20nacional%2C%20el%20Departamento%20>

Nacional%20de%20Planeaci%C3%B3n,muertes%20y%2067%2C8%20millones%20de%20s%C3%ADntomas%20y%20enfermedades

- Muñoz, S., Sánchez, J. & Peña, L. (2021). Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: una revisión. *Cultura Científica y Tecnológica*. 18. 1-9. 10.20983/culcyt.2021.1.3.1.
- Nakhai, A & Alhumoud, J. (2020) Propiedades del hormigón que contiene chatarra (reciclada) de caucho de neumáticos. *J. Ing. aplicación ciencia* 15 : 653-658.
- Nazer, A., Honores A., Chulak, P & Pavez, O. (2019) Hormigón sustentable basado en fibras de neumáticos fuera de uso. *Int. rev. contaminacion Ambiente*. 35 : 723-729. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300723&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000300723&script=sci_abstract)
- Ochando, R. (12 de febrero de 2013). *Hempcrete: un material muy verde*. Enconstrucción. <https://enconstruccionblog.wordpress.com/2013/02/12/hempcrete-un-material-muy-verde/>
- Ospina, O. (2019). *Diseño de modelo de negocio verde a partir de la producción de ladrillos a base de cáñamo industrial*. [Trabajo de grado, Universidad el Bosque]. [https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2617/Ospina\\_Pedraza\\_Oscar\\_Andr%C3%A9s\\_2019.pdf?sequence=9&isAllowed=y](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2617/Ospina_Pedraza_Oscar_Andr%C3%A9s_2019.pdf?sequence=9&isAllowed=y)
- Ospina, O. (2018). *Evaluación de la Cannabis Sativa Industrializada L (cáñamo industrial), en la restauración de suelos contaminados con metales pesados*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica Federico Santa María]. <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/46174/3560901550095UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, A. (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. Bogotá. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4833/00005068.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Romero, L. (2010). *Estudio ecofisiológico con fines industriales del cáñamo*. Alsativa. [http://www.alsativa.es/images/ESTUDIO\\_ECOFISIOLOGICO\\_CON\\_FINES\\_INDUSTRIALES\\_DEL\\_CANAMO.pdf](http://www.alsativa.es/images/ESTUDIO_ECOFISIOLOGICO_CON_FINES_INDUSTRIALES_DEL_CANAMO.pdf)
- Sanz, J. (2012). *Análisis del Ciclo de Vida de una vivienda media de la Región de Murcia*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2856/tfm110.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Serrano, M., Hernández, N., Pérez D. & Torrado. M. (2017). *Residuos inertes para la preparación de ladrillos con material reciclable: una práctica para protección del ambiente*. Datos Industriales, 20 (1),131-138. ISSN: 1560-9146. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81652135016>
- Severiche, C & Gómez, E & Jaimes, J. (2016). La educación ambiental como base cultural y estrategia para el desarrollo sostenible. Telos, 18 (2),266-281. ISSN: 1317-0570. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99345727007>
- Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial. (2002). *Planes de Ordenamiento Territorial: EOT Bochalema Norte de Santander*. <https://sigot.igac.gov.co/es/content/pot-municipales>
- Souza, E. (2020). *Hormigón de cáñamo: De los puentes romanos a un posible material del futuro*. ArchDaily ISSN 0719-8914. Colombia. <https://www.archdaily.co/co/944585/hormigon-de-canamo-de-los-puentes-romanos-a-un-posible-material-del-futuro>
- Ufarte, A. (2019). *Fundamentos Agro-económicos para el cultivo de Cáñamo Industrial*. Finaiconst. <https://finaiconst.es/wp-content/uploads/2020/02/20191211-PRESENTACION-FINAICONST-PRODUCCION-OK.pdf>
- Ulloa, E. (2020). *Comercialización internacional de subproductos de cáñamo industrial*. Promotora del comercio exterior de Costa Rica. <http://sistemas.procomer.go.cr/DocsSEM/DBF0ABD4-AA85-4064-A9F9-33F5997EF661.pdf>
- Uribe, C. (2012). *Materiales y prácticas de construcción sostenible*. [Trabajo de grado, Universidad EAFIT]. [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/5594/Carolina\\_UribeVelez\\_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/5594/Carolina_UribeVelez_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Valero, F. (2017). *Desarrollo del diseño constructivo en la arquitectura Sostenible. Aportaciones de la arquitectura tradicional*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/48805>
- Villalobos, S. (2011). *El cáñamo industrial y su aplicación como alternativa de material en la construcción sostenible*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona]. [https://issuu.com/svillalobosc/docs/c\\_\\_\\_\\_amo\\_industrial-resumen](https://issuu.com/svillalobosc/docs/c____amo_industrial-resumen)

- **Bibliografía de material normativo**

Congreso de la República de Colombia. (1979, 24 de enero). *Ley sanitaria 09 de 1979*. Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1177>

Congreso de la República de Colombia. (1997, 18 de julio). *Ley 388 de 1997*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339>

Congreso de la República de Colombia. (2016, 06 de julio). *Ley 1787*. Uso médico y científico del cannabis. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/col175827.pdf>

Constitución política de Colombia de 1991. (1991). <http://es.presidencia.gov.co/normativa/constitucion-politica>

Decreto 613. (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 780 de 2016, en relación con el acceso seguro e informado al uso médico y científico del cannabis*. [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Decreto%20613%20de%202017.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Decreto%20613%20de%202017.pdf)

Decreto ley 2811 (1974). *Código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente*. <https://funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

Ministerio del Medio Ambiente (1993, 22 de diciembre). *Ley General Ambiental de Colombia*. Función pública. <https://funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

Ministerio de Justicia y del derecho. (30 de abril de 2020). *Subdirección de Control y Fiscalización de Sustancias Químicas y Estupefacientes*. <https://asocolcanna.org/wp-content/uploads/2020/09/Licencias-de-Cannabis-Otorgadas-MJD-30-04-2020.pdf>

Ministerio de salud y protección social. (2017, 11 de agosto). *Resolución 2892 Por medio de la cual se expide reglamentación técnica asociada al otorgamiento de la licencia para la producción y fabricación de derivados de Cannabis*. [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%2002892%20de%202017.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%2002892%20de%202017.pdf)

Senado de la Republica de Colombia (2021, 17 de marzo). *Proyecto de Ley 414*. Por medio de la cual se modifica la Ley 1787 de 2016 y se autoriza el uso nutricional e industrial de las semillas y de la planta de cáñamo. <http://leyes.senado.gov.co/proyectos/index.php/proyectos-ley/cuatrenio-2018->

2022/2020-2021/article/416-por-medio-de-la-cual-se-modifica-la-ley-1787-de-2016-y-se-autoriza-el-uso-nutricional-e-industrial-de-las-semillas-y-de-la-planta-de-canamo

## ▪ Cibergrafía

Apuntes (2017). *Bioarquitectura, diseñar y construir respetando lo que nos rodea*. Revista digital de arquitectura. <http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2017/02/bioarquitectura-disenar-y-y-construir.html>

Argos. (s.f). *Aplicación de sistemas de aislamiento térmico*. [www.ignifugacionesargos.com/aislamiento-termico](http://www.ignifugacionesargos.com/aislamiento-termico)

Baño Nieva, A. (s.f). *La arquitectura bioclimática: términos nuevos, conceptos antiguos. Introducción al diseño de espacios desde la óptica medioambiental*. [https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2\\_asignaturas/asig32954/informacion\\_academica/Introducci%F3n%20a%20la%20construcci%F3n%20sostenible%20I.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig32954/informacion_academica/Introducci%F3n%20a%20la%20construcci%F3n%20sostenible%20I.pdf)

Barranco, O. (2015). *La arquitectura bioclimática. Módulo Arquitectura CUC*, Vol.14 N°2 31-40. <https://doi.org/10.17981/moducuc.15.1.2015.03>

Biehl, Z. (2019). *El asombroso mundo del cáñamo: Hempcrete: el material de construcción más sostenible del mundo*. Cannabis Tech. [https://www.cannabistech.com/articles/hemp-hempcrete-the-most-sustainable-building-material-onEarth/?fbclid=IwAR2x0ARYn5zfhOeWnKlqoy\\_aGPam32P2mT3q5Q\\_m5O1HwL7gB6av\\_vMcnlg](https://www.cannabistech.com/articles/hemp-hempcrete-the-most-sustainable-building-material-onEarth/?fbclid=IwAR2x0ARYn5zfhOeWnKlqoy_aGPam32P2mT3q5Q_m5O1HwL7gB6av_vMcnlg)

Brümmer, M. (s.f). *El cáñamo en la construcción: antecedentes, materiales y técnicas*. Cannabric. <https://www.ecoconstruccion.net/require/archivos/articulos/descarga/TgelSV7uQgnGJc0gYS7vscuxc.pdf>

Bedoya, C. (2011). *Construcción sostenible: para volver al camino*. Biblioteca Jurídica Dike: Mares Consultoría Sostenible. [https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7378/CONSTRUCCI%c3%93N\\_SOSTENIBLE\\_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7378/CONSTRUCCI%c3%93N_SOSTENIBLE_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Bedoya, C. (2017). *Construcción de vivienda sostenible con bloques de suelo cemento: del residuo al material*. Revista de Arquitectura, 20(1), 62-70. doi: <http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.1.1193>

- CAEM. (2015). *Inventario nacional del sector ladrillero colombiano*.  
[https://www.caem.org.co/wp-content/uploads/2021/01/13\\_inventario\\_Nacional\\_Ladrillero.pdf?x47248](https://www.caem.org.co/wp-content/uploads/2021/01/13_inventario_Nacional_Ladrillero.pdf?x47248)
- Carrillo, E. (2018). *Humos cancerígenos podrían generarse en la producción de ladrillos*. Noticias. Universidad de Guadalajara. México. <https://udg.mx/es/noticia/humos-cancerigenos-podrian-generarse-produccion-ladrillos>
- Casanare Positivo. (s.f). *Cannabric el ladrillo de cáñamo hecho en España*.  
<https://casanarepositivoparahemp.com/2021/10/14/cannabric-el-ladrillo-de-canamo-hecho-en-espana/>
- Collins, J. (2019). *¿Es el cáñamo realmente una planta milagrosa?*. D.W Protección Del Medioambiente. <https://www.dw.com/es/es-el-c%C3%A1%C3%B1amo-realmente-una-planta-milagrosa/a-50662466>
- Conte, M, & D'Elia, V. (2018). Desarrollo sostenible y conceptos “verdes”. Problemas del desarrollo, 49(192), 61-84.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-70362018000100061&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362018000100061&lng=es&tlng=es).
- Innovación, 18(21), 25-61.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2225-87872020000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872020000100003&lng=es&tlng=es).
- López, S. (2018, 13 se octubre). *El cannabis le planta cara al ladrillo*. El país. Economía. [https://elpais.com/economia/2018/10/11/actualidad/1539248215\\_081925.html](https://elpais.com/economia/2018/10/11/actualidad/1539248215_081925.html)
- López, J. (2019). *Potencial de las exportaciones de cannabis de Colombia sería mayor al del petróleo*. Agronegocios. <https://www.agronegocios.co/agricultura/potencial-de-las-exportaciones-de-cannabis-de-colombia-seria-mayor-al-petroleo-2904326>
- Luque, S. (8 de julio de 2021). *Crece la deforestación en Colombia: más de 171 mil hectáreas se perdieron en el 2020*. Mongabay. <https://es.mongabay.com/2021/07/crece-deforestacion-colombia-2020/>
- Modularq. (s.f). *El Cáñamo En La Construcción Ecológica*. <https://modul-arq.com/el-canamo-en-la-construccion-ecologica/>
- Molina, M. (2011). El cannabis en la historia: pasado y presente.  
[http://culturaydroga.ucaldas.edu.co/downloads/culturaydroga13\(15\)\\_7.pdf](http://culturaydroga.ucaldas.edu.co/downloads/culturaydroga13(15)_7.pdf)
- Peñaloza, J. (febrero de 2012). *Contaminación*. DELOS: Desarrollo Local Sostenible. <https://www.eumed.net/rev/delos/13/japp.html>

- Quadri, G. (2006). *Políticas Públicas Sustentabilidad y medio ambiente*. Miguel Ángel Porrúa. <https://es.scribd.com/document/351908840/Quadri-2006-Politic-Publicas-Sustentabilidad-y-Medio-Ambiente>
- Ramírez, J. (2019). *La industria del cannabis medicinal en Colombia*. Fedesarrollo [https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3823/Repór\\_Diciembre\\_2019\\_Ram%c3%adrez.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/3823/Repór_Diciembre_2019_Ram%c3%adrez.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Reyes, C. (2014). *Colombia es el segundo país con más conflictos ambientales en el mundo*. Prensa Universidad del Rosario. <https://www.urosario.edu.co/sala-de-prensa/noticias/Destacadas/Colombia-es-el-segundo-pais-con-mas-conflictos-amb/>
- Sánchez, F. (2013). *III Seminario de Actualización en Ingeniería Ambiental: Gestión del Recurso Hídrico en Colombia*. Sociedad Colombiana de Ingenieros. [http://www.fuac.edu.co/recursos\\_web/documentos/ing.ambiental/RECURSO\\_HIDRICO\\_EN\\_COLOMBIA\\_UAUTONOMA\\_1.pdf](http://www.fuac.edu.co/recursos_web/documentos/ing.ambiental/RECURSO_HIDRICO_EN_COLOMBIA_UAUTONOMA_1.pdf)
- Vanga, M., Briones, O., Zevallos, I. & Delgado, D. (2021). Bioconstrucción de vivienda unifamiliar de interés social con caña *Guadua angustifolia* Kunth. *Revista Digital Novasinergia*, 4 (1), 53-73. Epub 01 de junio de 2021. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.03>
- Vasic, A. (4 de agosto de 2020). *Casas de cáñamo: una forma más sostenible de construir y una forma más saludable de vivir*. Greencamp. <https://greencamp.com/hemp-houses/>