

ANÁLISIS FISICOMECANICO DEL CANNABIS COMO MATERIAL SUSTITUTO EN BLOQUES DE  
TIERRA COMPRIMIDA PARA USO EN BIOINGENIERÍA

FIDEL ANTONIO AFRICANO BARRERA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
TUNJA  
2023

ANÁLISIS FISICOMECANICO DEL CANNABIS COMO MATERIAL SUSTITUTO EN BLOQUES DE  
TIERRA COMPRIMIDA PARA USO EN BIOINGENIERÍA

Trabajo de Investigación como requisito  
parcial para optar al título de ingeniero civil

FIDEL ANTONIO AFRICANO BARRERA

Director: (c) PhD. Juan Ricardo Pérez Cuervo

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
TUNJA  
2023

## **DEDICATORIA**

A mi familia por el apoyo incondicional, su comprensión y por el ánimo que me dieron día a día ayudándome a superar las dificultades, a mi director de tesis quien fue un pilar en esta investigación orientándome en cada paso; brindándome su tiempo, recursos y paciencia; a las personas que se involucraron junto a mi en el desarrollo del proyecto quienes me guiaron con sus conocimientos y patrocinaron con el material y maquinas necesarias para garantizar el éxito del trabajo. Finalmente, quiero agradecer a mis amigos y compañeros de carrera quienes me impulsaron con sus palabras de aliento y estuvieron presentes en cada momento.

## AGRADECIMIENTOS

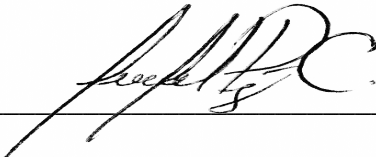
Agradezco sinceramente al Ingeniero Juan Ricardo Pérez Cuervo mi director de tesis, por su guía experta, apoyo constante y valiosos consejos a lo largo de todo este proceso. Su dedicación y conocimientos han sido fundamentales para el éxito de este trabajo.

También agradecer todas las personas que participaron en este estudio como colaboradores y voluntarios. Quiero agradecerles su generosidad y disposición para formar parte de este proyecto. Sin su participación y contribución, este trabajo no habría sido posible.

A mi familia y amigos, quienes han estado a mi lado en cada paso de este camino, quiero agradecerles de todo corazón. Su apoyo incondicional, comprensión y aliento constante han sido mi mayor fortaleza. Gracias por creer en mí y por darme la fuerza necesaria para superar los desafíos y perseverar hasta el final.

A todos ustedes, les doy las gracias de todo corazón por su contribución, confianza y presencia en esta importante etapa de mi vida académica.

Nota de aceptación:



---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Tunja 09 de Junio del 2023

## INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
INDICE DE CONTENIDO.....	6
INDICE DE FIGURAS.....	7
INDICE DE TABLAS.....	8
INDICE DE ANEXOS .....	9
RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN .....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. OBJETIVOS .....	16
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
4. REVISIÓN BLILIOGRAFICA .....	17
5. MATERIALES Y METODOS.....	24
5.1. Preparación de las muestras .....	25
5.2. Microscopia electrónica. ....	26
5.3. Mezcla y conformación de ladrillos con agregado de hoja de cannabis.....	28
5.4. Compresión de BTC .....	35
5.5. Normativa para bloques de tierra comprimida.....	36
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	38
6.1. Caracterización Micro – estructural, Microscopia electrónica de barrido (MEB).....	38
6.2. Compresión de BTC. ....	40
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
7.1. Conclusiones.....	56
7.2. Recomendaciones.....	58
8. GLOSARIO – MARCO TEORICO .....	59
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	63
10. ANEXOS.....	66

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Método de planeación.....	24
Figura 2. Ubicación invernadero.....	25
Figura 3. Sobras de flor y hoja de cannabis.....	26
Figura 4. Grabador iónico de plasma de argón .....	27
Figura 5. Microscopio electrónico de barrido (MEB). .....	27
Figura 6. Ubicación de fábrica de adobes BIOconstructor.....	28
Figura 7. Cimva RAM .....	28
Figura 8. Mezcla 1.....	30
Figura 9. Introducción de mezcla a cimva RAM. ....	31
Figura 10. Mezcla en la cimva RAM.....	31
Figura 11. Bloque resultante. ....	32
Figura 12. Mezcla 2.....	33
Figura 13. Introducción de mezcla a cimva RAM .....	33
Figura 14. Bloque resultante. ....	33
Figura 15. Bloques de muestras 1 y 2.....	35
Figura 16. Toma de peso de muestra bloque en balanza. ....	36
Figura 17. Muestra en prensa.....	36
Figura 18. Hoja cannabis bajo microscopio a 17X Microscopio de barrido. ....	38
Figura 19. Hoja cannabis bajo microscopio a 100X Microscopio de barrido. ....	39
Figura 20. Medición de poros flor de cannabis bajo microscopio a 1.0 k X. Microscopio de barrido. ....	40
Figura 21. Hoja cannabis bajo microscopio a 1.0 k X. Microscopio de barrido.....	40
Figura 22. Grafica falla L1. ....	42
Figura 23. Grafica falla L5 .....	42
Figura 24. Grafica falla L6 .....	43
Figura 25. Grafica falla L2 .....	44
Figura 26. Grafica falla L3 .....	45
Figura 27. Grafica falla L4 .....	46
Figura 28. Grafica falla L7 .....	48
Figura 29. Grafica falla L8 .....	49
Figura 30. Grafica falla L9 .....	50
Figura 31. Grafica falla L10 .....	51
Figura 32. Comparativo muestra patrón 1. ....	53
Figura 33. Comparativo muestra patrón 2. ....	54

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de mezclas usadas en la fábrica BIO constructor.....	29
Tabla 2. Porcentajes experimentales muestra 1.....	30
Tabla 3. Porcentajes mezcla muestra 2.....	32
Tabla 4. Mezcla tierra N2 M1.....	34
Tabla 5. Pesos y áreas Muestra 1.....	41
Tabla 6. Resultados compresión muestra 1.....	43
Tabla 7. Pesos y áreas Muestra 2.....	44
Tabla 8. Resultados compresión muestra 2.....	46
Tabla 9. Resultados compresión muestra 2.1.....	47
Tabla 10. Pesos y áreas Patrón 1.....	48
Tabla 11. Resultados compresión Patrón 1.....	49
Tabla 12. Pesos y áreas patrón 2.....	50
Tabla 13. Resultados compresión patrón 2.....	51
Tabla 14. Resultados de compresión de muestras.....	52
Tabla 15. Fallas muestras experimentales y muestras patrón.....	54

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acopio de tierra muestra 1.....	66
Anexo 2. Almacén de bloques BIOconstructor.....	66
Anexo 3. Preparación de diseño de mezcla mezclas.....	67
Anexo 4. Preparación de mezclas.....	67
Anexo 5. Aplicación de ACPM a la maquina CIMVA RAM.....	68
Anexo 6. Compresión de bloques en CIMBA RAM.....	68
Anexo 7. Compresión de bloques en CIMBA RAM.....	69
Anexo 8. L1 en prensa.....	69
Anexo 9. Grafica carga L1.....	70
Anexo 10. Peso de L2.....	70
Anexo 11. L2 en prensa.....	71
Anexo 12. Grafica carga L2.....	71
Anexo 13. Peso L3.....	72
Anexo 14. L3 en prensa.....	72
Anexo 15. Grafico carga L3.....	73
Anexo 16. Peso L4.....	73
Anexo 17. L4 en prensa.....	74
Anexo 18. Falla L4.....	74
Anexo 19. Grafica carga L4.....	75
Anexo 20. Peso L5.....	75
Anexo 21. L5 en prensa.....	76
Anexo 22. Falla L5.....	76
Anexo 23. Peso L6.....	77
Anexo 24. Falla L6.....	77
Anexo 25. Peso L7.....	78
Anexo 26. L7 en prensa.....	78
Anexo 27. Peso L8.....	79
Anexo 28. Falla L8.....	79
Anexo 29. Peso L9.....	80
Anexo 30. Falla L9.....	80
Anexo 31. Peso L10.....	81
Anexo 32. L10 en prensa.....	81

## RESUMEN

El presente trabajo analizará las propiedades físico mecánicas de Bloques de tierra comprimida (BTC) con adición de cannabis y algunos de los usos que se le puede dar a esta planta como agregado para la construcción, se hará una investigación en estudios previos y se generará una caracterización a nivel micro estructural, que se realizará por medio del ensayo de microscopia electrónica de barrido (MED).

Con esto se pretende observar la factibilidad que puede tener la fibra orgánica en la bioingeniería y estudiar la aplicabilidad que se le consigue dar en la industria como agregado componente de construcción, de esta manera dándole un nuevo enfoque al uso de la planta y comprender el aprovechamiento de la misma, reflejando así las posibilidades que puede llegar a tener el cannabis que permitirá mejorar las capacidades físicas.

Palabras clave: Cannabis, Bloques de tierra comprimida, Caracterización micro estructural, microscopia estructural, compresión.

## ABSTRAC

The present work will analyze the physical-mechanical properties of Compressed Earth Blocks (BTC). As well as, the addition of cannabis and some of the uses that it can provide to this plant as an aggregate for construction. For this, an investigation will be carried out in previous studies together with a characterization at the microstructural level. Which will be developed through the scanning electron microscopy (MED) test.

With this, it is sought to observe the feasibility that organic fiber can have in bioengineering. And to study the applicability that it can be given in the industry as an added construction component. Additionally, giving a new approach to the use of the plant and thus being able to understand the use of it. Thus, reflecting the possibilities that cannabis can have that will improve physical abilities.

Keywords: Cannabis, Compressed Earth Blocks, Microstructural Characterization, Structural Microscopy, Compression.

## INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, el desarrollo de materiales de construcción ecológicos ha cobrado cada vez más relevancia. En este contexto, se realiza este proyecto centrado en la fabricación de ladrillos utilizando la hoja y flor del cannabis como agregado. Para determinar la viabilidad que puede tener este con sus propiedades físico mecánicas.

El cannabis, una planta que ha sido cultivada durante siglos por sus diversas aplicaciones, se destaca por sus propiedades únicas y versátiles. En el campo de la construcción, su uso como agregado en la producción de ladrillos ofrece una serie de beneficios tanto para el entorno construido como para la sostenibilidad ambiental.

Este proyecto se enfoca en investigar y desarrollar una metodología eficiente y efectiva para incorporar el cannabis como parte integral de la producción de ladrillos BTC. La intención es aprovechar las propiedades inherentes del material, como su resistencia y durabilidad, para crear un material de construcción que sea al mismo tiempo resistente, ecológico y de bajo impacto ambiental.

Al emplear el cannabis como agregado en los ladrillos, se busca reducir la dependencia de los materiales de construcción convencionales, que a menudo generan una gran huella de carbono a lo largo de su producción y liberan sustancias tóxicas en el ambiente. Además, el cannabis es una planta de rápido crecimiento y su cultivo requiere menos agua y pesticidas en comparación con otros cultivos tradicionales utilizados en la

industria. Durante este proyecto, se llevarán a cabo pruebas para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los bloques de tierra comprimida (BTC) de cannabis.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad es de importancia el encontrar nuevos recursos que sustituyan aquellos que han sido sobre explotados o que en su proceso de creación ocasionan daño y contaminación al ambiente, por tal razón es conveniente la reutilización de materiales y el aprovechamiento en su totalidad, en este caso los residuos de la flor del cannabis, planta que hasta hace poco era prohibida su siembra por ser utilizada en la elaboración de drogas alucinógenas, pero que al ser legalizada su producción para nuevos fines se ha generado un crecimiento de su cultivo controlado, generando desechos aprovechables como lo es su tallo y su flor; el cual se ha venido estudiando en temas medicinales, sin embargo es reducida su aparición en otros sectores económicos como el industrial.

Por lo antedicho se hace necesario realizar la caracterización debida, para tener un estudio más a fondo y ayudar a determinar la aplicabilidad que se le podría dar en el ámbito de la construcción, ya que no se ha encontrado un análisis a nivel estructural, mas solo algunos usos que se le han dado a la fecha actual, dejando un vacío de cuál sería su utilidad para la industria, permitiendo así efectuar esta investigación para dar a conocer características no vistas en la hoja y flor del cannabis como lo son sus propiedades micro estructurales y sus capacidades físicas en combinación con otros materiales.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Dado que en Colombia desde el 11 de agosto de 2017 con el decreto 613 se realizó la reglamentación para el cultivo, fabricación y uso del cannabis para fines medicinales y científicos, dando las licencias para el uso de las semillas y el procesamiento de plantas tanto psicoactivas como no psicoactivas, con supervisión del gobierno más específicamente el ministerio de justicia, se ha visto el incremento de los cultivos del producto lo que conlleva a la generación de sobrantes en este caso residuos de hoja y flor de la planta.

Por lo anteriormente mencionado y teniendo en cuenta los últimos estudios donde se presentó un resultado favorable al utilizar el cáñamo como agregado para el concreto, se pretende complementar estas investigaciones de manera científica para darle relevancia al producto, contribuyendo con ensayos para hacerle una caracterización más explícita dándole otros usos, generando así un concepto diferente en la población sobre la planta y el uso del subproducto del cannabis en el campo de la construcción.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. OBJETIVO GENERAL.

Analizar física y mecánicamente la flor del cannabis como material sustituto en bloques de tierra comprimida para uso en bioingeniería.

#### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar morfológicamente la estructura superficial de la flor de cannabis.
- Determinar la viabilidad que tiene la flor del cannabis como agregado sustituto en la elaboración de BTC para la construcción.

#### 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El cannabis o Cannabis sativa es una planta que según la teoría se originó en Asia, y se ha ido introduciendo en diversas partes del mundo en especial zonas templadas y subtropicales lo que ha generado muchas variedades. Se cataloga como una especie mono específica, y es clasificada según su tamaño en sativas, de hasta 6 metros con forma cónica; indicas, que miden hasta 3 metros también de forma cónica, pero de foliolos más anchos y la subespecie ruderal, con un máximo de 2 metros de altura (García, A. 2021).

Se presenta una falta de uso de la planta del cannabis en el ámbito constructivo ya que actualmente no hay un mercado donde se pueda adquirir el insumo, ya sea por la percepción social o por el seguimiento que se le hace por medios judiciales lo que disminuye el uso de este material y no permite su amplio estudio e innovación con el mismo (Sánchez et al 2021).

En la actualidad en cultivos de cannabis se observa la diversidad a la que se puede llevar un producto orgánico, no solo con fines medicinales y recreativos sino de igual manera usarse para mejorar las propiedades del concreto y/o asfalto, los cuales pueden ser usados en la industria de manera relevante. Un ejemplo de aplicación se observa en la construcción de viviendas con bloques de cáñamo como material principal, teniendo un gran costo, generado por la falta de sembradíos de cannabis, ya que no hay una demanda de estos materiales para usos industriales, lo cual va a ir mejorando según se aumenten la producción de la misma, permitiendo de esta forma la investigación a profundidad de la planta (López Letón, S. 2018)

Se puede evidenciar en los ensayos a compresión que se realizaron cilindros de concreto convencional que se compararon con muestras del mismo material, con una adición del cáñamo presentando resistencias mayores a las esperadas, elevando sus valores, esperando unos resultados nominales de 3000 a 4000 PSI y dando unos finales de hasta 5400 PSI (Huelgos Reyes, M. A. 2021).

De esta manera se evidencia la mejora que proporciona el tallo del cannabis al concreto como agregado, para este fin se han realizado experimentos del manejo del cáñamo para que sean posibles las mejoras, iniciando con el uso de cal hidratada para que la planta no sufra corrosión por la alcalinidad del hormigón, posteriormente procurar que la fibra que se va a adicionar tenga longitudes iguales para que muestre una homogeneidad en la composición, se realiza también una distribución de pesos equivalente al 1% del peso de la mezcla, al realizar este proceso se notó que la operación del concreto con el cáñamo adicionado fue más difícil de trabajar generando un esfuerzo adicional en su manipulación (Carvajal Corredor, I. L. & Terreros Rojas, L. E. 2022).

Se reflejó en varios ensayos la importancia de tener un control de la cantidad de material que se debe usar como agregado, esto por la característica que tiene el cáñamo de absorción de agua y la disminución de las resistencias en concretos de alta resistencia teniendo unas reducciones de un 10% y 15%, según la cuantía del agregado. De igual manera se refleja que el uso del cáñamo en el concreto cambia su disposición de rotura

ayudando a que no presente una falla súbita (Hernández, Y. S., Gutiérrez Junco, O. J. & Acuña Flórez, C. A. 2020).

El cannabis como uso en la construcción se ha empleado también en la fabricación de ladrillos de cáñamo los cuales tienen una combinación de las fibras naturales del cáñamo con materiales como la cal, cemento, arena y agua, esto con el fin de remplazar el ladrillo típico usado en Colombia el cual se realiza con una combinación de arcillas y en su fabricación genera un impacto negativo al aire debido a las emisiones de contaminantes como el carbono negro que se generan en la combustión de los hornos donde se cocina el ladrillo de arcilla común, esta actividad representa un 9% de la contaminación global debido a la alta demanda que tiene este material para la construcción. Debido a esto y que en Colombia ya legalizado el cultivo del cannabis el cual daría la materia prima para la creación de estos ladrillos a base de cáñamo y teniendo en cuenta que su elaboración es de fácil desarrollo y no requiere de maquinaria compleja representando esto una viabilidad de nuevas alternativas para la construcción (Ospina, O. A. 2019).

Por otra parte el BTC en cual es un bloque hecho principalmente de tierra con agregados de fibras mayormente orgánicas y que tiene un curado al aire libre, los cuales en términos de América del sur se han usado desde la época prehispánica, estos prestando un buen servicio y demostrando tener una gran durabilidad y versatilidad a la hora de construir con ellos, esto reflejado en cómo hasta el día de hoy se encuentran en pie muchas de las construcciones que se realizaron con este material, dado que cuentan con una gran

resistencia y si son adecuadamente protegidos pueden llegar a tener una gran vida útil, ya que su gran enemigo es el agua puesto que no toleran la humedad excesiva (Gutiérrez, D. E. 2019).

Alrededor del mundo un 30% de las personas tienen sus hogares hechos en tierra, y entre esos un 50% de los habitantes de los países en vía de desarrollo, esto teniendo en cuenta en su mayoría a poblaciones rurales y por lo menos un 20% de la población urbana. Los países que más usan este material constructivo son Perú el cual tiene con un 47.1% de sus casas construidas en BTC y tapia esto para el 2013 y la India con un 73% de sus casa construidas con tierra (Blondet, M., Villa, G., & Brzev, S. (2003).

En Colombia el BTC es un materia de construcción considerado ancestral pero el cual está perdiendo importancia y con el pasar de los años se ha ido remplazando por mamposterías modernas, en sus inicios era altamente utilizado por su facilidad de acceso y su bajo costo, se utilizaba a menudo por las poblaciones vulnerables o que tenían difícil acceso a los materiales modernos, pero en la actualidad se ha estigmatizado como viviendas de baja calidad de vida a todas aquellas construcciones fabricadas con este, aparte que se ha perdido la tradición y el conocimiento del proceso de fabricación que conlleva. (16) En las zonas rurales dispersas del país según las encuestas del DANE son el 54,1% de viviendas hechas con bloque, ladrillo, piedra, madera pulida seguido del 25,5% que tienen como material principal paredes en BTC, luego un 15,1% hechas con madera burda, tabla y tablón luego el 2,5% están hechas con guadua, caña, esterilla y otros materiales para finalizar con un 2,4% de otros materiales (DANE 2014).

Para realizar estos BTC se requiere de una preparación previa de la tierra, se tiene que realizar un tamizaje para evitar incorporar gravas muy gruesas a la mezcla ya que si el tamaño de estas supera los 3 cm puede generar fractura miento en los bloques, luego de tamizada la tierra se hace un humedecimiento previo a su utilización de mínimo 72 horas para luego hacer su mezcla con las fibras naturales o los aditivos requeridos, se realiza un encofrado en una “adobera” la cual se recomienda llenar en su totalidad y teniendo cuidado en las esquinas para que al momento de cortar los adobes estos mantengan su forma. Para su curado se recomienda que sea al aire libre, pero en un lugar sombreado para que el sol no produzca una perdida brusca de la humedad, su secado dependerá de las condiciones climáticas y atmosféricas de la zona donde se realicen y esta será de entre 18 a 28 días de curado (Tomasi, J., Bellmann ,L).

El realizar construcciones en BTC trae consigo ciertas ventajas como lo son el aspecto económico ya que los materiales pueden ser de fácil acceso y se pueden recolectar de la misma zona donde se pretenda hacer la obra permitiendo realizar la elaboración de los mismos en el sitio quitando los costos de transporte, cargue y descargue siendo favorable en los costos de la obra (Tomasi, J., Bellmann ,L).

Para la elaboración de los BTC en ciertos casos se realiza la caracterización de la tierra que se va a usar, realizando granulometrías, límites de consistencia y en algunos casos un Proctor modificado, esto con el fin de verificar que estos tendrán una resistencia adecuada cuando sean utilizados en obra, en el estudio previo se le adiciono fibra de

cáñamo en ciertas cantidades demostró una mejora con respecto al BTC tradicional mejorando su resistencia a la deflexión hasta en un 74% y hasta en un 300% su resistencia a la compresión (Gutiérrez Chávarry, D. G. 2019).

Los BTC como todos los sistemas de mampostería tienen ciertas fallas en este caso específicamente el BTC presenta fallas en tracción en los encuentros de muros debido a las fuerzas de tracción directas, esta falla se puede agravar si también se superponen los efectos por flexión, esta falla ocurre por los esfuerzos de tracción por flexión, esta falla se puede presentar en secciones verticales horizontales u oblicuas y por último la falla por corte que se presenta cuando la mampostería en BTC está trabajando como muro de corte y se debe a las fuerzas tangenciales en juntas horizontales (Morales, R., Yamashiro, R., et al.,).

Al igual que en los suelos al BTC se le pueden adicionar fibras de diversos materiales como una alternativa para mejorar su comportamiento interno, creando así internamente una armazón ayudando con el reparto de las tensiones en su matriz terrosa con esto aportando a la resistencia de flexión y cortante (Rivera, H et al 2021).

Se puede ver también los ladrillos prensados con agregados orgánicos también han representado un método innovador de ayudar al aprovechamiento de estos desechos de diferentes tipos de plantas, ayudando a remplazar en ciertas cantidades los agregados que normalmente se les coloca, ayudando a no disminuir su resistencia e incluso haciéndolo más liviano lo que ayuda en la construcción sismo resistente (PÀLIZ, D. 2014).

Un método de conformación de los ladrillos es por medio de la Cimva Ram, esta máquina permite fabricar ladrillos de suelo cemento, esta funciona comprimiendo el material lo que permite la creación de ladrillos con gran firmeza y resistencia por la presión que se ejerce en ellos, esta máquina operada por dos personas puede llegar a fabricar entre 400 y 500 unidades diarias, esta máquina fue una invención del el ingeniero Raúl Ramírez (RAM) del CINVA-Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento dentro del Proyecto 22 de la OEA (PNUD 2010).

## 5. MATERIALES Y METODOS

**Figura 1.** Método de planeación



Para realizar esta investigación se tiene en cuenta como materia prima los residuos de la flor y hoja del cannabis, los cuales en su mayoría son desechos del proceso del cultivo, generalmente desaprovechado por su poca utilidad, ya que de ahí no se extraen partes para uso farmacéutico y no es recomendable su trituración para uso medicinal, en este caso el material será proporcionado por un cultivo certificado de la región, este cuenta con los permisos para su producción y se ubica en el departamento de Boyacá en el municipio de Chivata a 45 minutos de la ciudad de Tunja su capital.

**Figura 2.** Ubicación invernadero



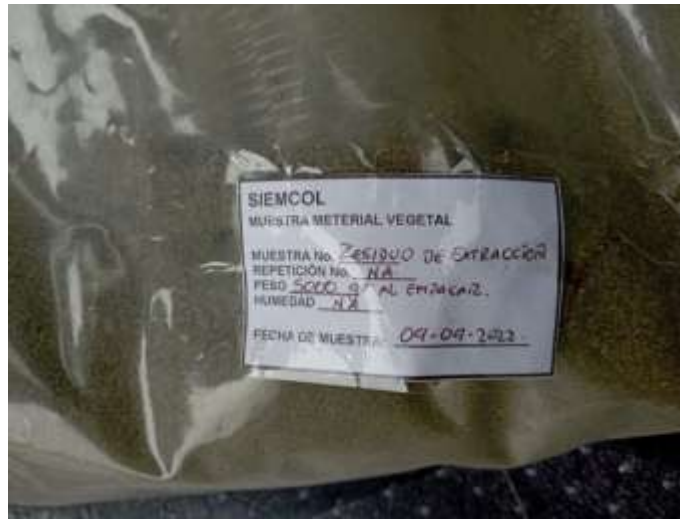
Fuente: Google Earth Pro 2023.

### 5.1. Preparación de las muestras

Lo primero es la recolección de los materiales sobrantes del cultivo, estos son la hoja y flor sobrante ya triturada de la planta, el cual es desechado una vez ha dejado de florecer y se vuelve obsoleto para los cultivadores, la ubicación se refleja en la figura 2.

Luego de tener el material se procedió a prepararlo para las diferentes actividades que se tenía que realizar con el misma, la hoja al ya ser entregada por el invernadero de forma casi pulverizada como se ve en la figura 3, no se le realizó ninguna preparación previa al ensayo de microscopia y su posterior incorporación de la mezcla de los BTC.

**Figura 3.** Sobras de flor y hoja de cannabis.



## 5.2. Microscopia electrónica.

Para la caracterización de la hoja u flor tributadas del cannabis se realizó un ensayo presente en el catálogo de servicios del laboratorio del INCITEMA de la Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, este es la microscopia electrónica, que permite determinar la superficie de fractura del material en estudio debido a altos niveles de magnificación, proceso por el cual se hace posible por el uso del microscopio electrónico de barrido marca SEIZZ, también consiente en la determinación de la composición química de campo en SPOT a través de una sonda de rayos x.

Para el funcionamiento el microscopio electrónico de barrido requiere una buena conductividad, por tanto, la muestra se tiene que recubrir por un material conductor, puede ser platino, grafito o como se realizó en este caso con oro. Para esto se utiliza el grabador iónico de plasma de argón Figura 4, la muestra es colocada en el porta muestras

como se muestra en la Figura 5, para proceder a colocar la capa de oro mediante un grabador de plasma.

**Figura 4.** Grabador iónico de plasma de argón



Una vez realizado el recubrimiento con oro a la muestra está ya tiene la conductividad necesaria para pasar al microscopio electrónico de barrido (MEB), estando allí se realizó el vacío necesario para la morfología y el análisis superficial de la hoja y flor triturada.

**Figura 5.** Microscopio electrónico de barrido (MEB).



### 5.3. Mezcla y conformación de ladrillos con agregado de hoja y flor de cannabis.

El proceso de fabricación de los BTC se realizó en una fábrica local en el Municipio de Chivita en la vereda Ricaya Sur en la empresa BIO-constructo, figura6, quienes ayudaron con la producción de las muestras e hicieron el préstamo de la Cimva Ram figura 7, maquina en la cual se efectuó el prensado de los mismos.

**Figura 6.** Ubicación de fábrica de adobes BIO-constructor.



Fuente: Google Earth Pro 2023.

**Figura 7.** Cimva RAM



Primero se realizó la extracción de dos tipos de tierras usadas en este lugar para la fabricación de los BTC, estas tierras son de procedencia local, para las cuales el lugar de fabricación tiene licencia de explotación de las mismas, se tomaron estas dos muestras

con el fin de tener dos tipos de mezcla diferentes para ver cual se comportaba mejor. A continuación, se procedió a realizar un diseño de mezcla teniendo en cuenta los que ya se realizaban en este lugar. El diseño tradicional de la fabrica costa de la adición de tierra, arena y una porción de cemento.

En este caso se decidió remplazar una porción de la arena y el cemento que se usa comúnmente por la hoja del cannabis triturada. Los porcentajes usados para cada muestra fueron los siguientes.

### 5.3.1. Mezcla local.

Tabla 1.

.Porcentaje de mezclas usadas en la fábrica BIO constructor.

Material	Porcentaje en la mezcla Patrón (%)
Tierra	60,00
Arena	20,00
Cemento	20,00
Cannabis	0,00
% Total	100

La tabla 1, corresponde a las cantidades usadas por la fábrica para realizar sus BTC comunes colocando en sus mezclas un 60% de tierra, esta baria según el acopio disponible, un 20% de cemento o cal y agua en bajas proporciones con la intención de solo humedecer la mezcla.

### 5.3.2. Mezcla tierra N1 muestra 1

Tabla 2.

Porcentajes experimentales muestra 1.

Material	Porcentaje en la mezcla tierra (%) 1 N1
Tierra	57,14
Arena	23,81
Cemento	9,52
Cannabis	9,52
% Total	100

En la tabla 2 se muestran los porcentajes que se usaron para la primera muestra, en esta de disminuyo un 2,86% la tierra, se aumentó en un 3,81% la arena y se redujo en una 10,48% el cemento para agregar un 9,52% de hoja de cannabis triturada a la mezcla como se muestra en la figura 8.

**Figura 8.** Mezcla 1.



Una vez hecho el diseño se procede a mezclar los materiales agregándole agua en bajas porciones para no saturar la mezcla, una vez terminada se introduce el material resultante en la Cimva Ram para su compactación figura 9 y 10.

**Figura 9.** Introducción de mezcla a Cimva RAM.



**Figura 10.** Mezcla en la cimva RAM.



El resultado es un bloque de tierra, cemento, arena y cannabis comprimido de medidas 30 cm de largo, 15 cm de ancho y 10 cm de alto figura 11. Al salir de la cimva RAM se procede a retirar la muestra y colocarla en un lugar donde se pueda mantener estática cubierta de lluvia y al aire libre, recostada por una de sus lados horizontales para ser posteriormente humedecida por un aspersor de mano para iniciar su tiempo de curado.

**Figura 11.** Bloque resultante.



### 5.3.3. Mezcla tierra N1 muestra 2

Tabla 3.

Porcentajes mezcla muestra 2.

Material	Porcentaje en la mezcla tierra (%) 1 N2
Tierra	60,87
Arena	17,39
Cemento	6,52
Cannabis	15,22
% Total	100

La tabla 3 muestra los porcentajes que se usaron para la segunda muestra, en esta se aumentó un 0,87% la tierra, se disminuyó en un 2,61% la arena y se redujo en una 13,48% el cemento para agregar un 15,22% de hoja de cannabis triturada a la mezcla figura 12.

**Figura 12.** Mezcla 2.



**Figura 13.** Introducción de mezcla a cimva RAM



El resultado es un bloque de tierra, cemento, arena y cannabis comprimido de medidas 30 cm de largo, 15 cm de ancho y 10 cm de alto figura 14

**Figura 14.** Bloque resultante.



#### 5.3.4. Mezcla tierra N2 Muestra

Tabla 4.

Mezcla tierra N2 M1

Material	Porcentaje en la mezcla Tierra 2 N1
Tierra	63,64
Arena	18,18
Cemento	9,09
Cannabis	9,09
% Total	100

La tabla 4 muestra porcentajes que se usaron para la tercera muestra, en esta se aumentó un 3,64% la tierra, se disminuyó en un 1,82% la arena y se redujo en una 10,91% el cemento para agregar un 9,09% de hoja de cannabis triturada a la mezcla.

#### 5.3.5. Curado de los BTC.

Luego de realizar estos BTC se dejaron en sitio durante 2 días en los cuales se les roció con agua para impedir agrietamientos y mantener la humedad de los mismos figura 15, posteriormente fueron transportados para evitar que se rompieran en el lugar para terminar su curado de ocho días más en los que se les siguió agregando hidratación en los tres primeros días de curado.

**Figura 15.** Bloques de muestras 1 y 2.



#### 5.4. Compresión de BTC

Una vez transcurrido el tiempo de curado los BTC fueron transportados al sitio donde se les iba a fallar, una vez allí se le tomaron las dimensiones y el peso a cada uno de ellos.

La compresión de los BTC se llevo a cabo en la maquina universal que se encuentra en las instalaciones de la universidad santo tomas seccional Tunja en el laboratorio de concretos para esto se realizó un precargado de la máquina y se procedió a realizar la falla de los BTC.

Se realizó la compresión de 4 muestras de BTC 2 experimentales con la hoja de cannabis y dos muestras patrón con el diseño de mezcla del constructor.

**Figura 16.** Toma de peso de muestra bloque en balanza.



Previo a fallarlas se le realizo a cada ejemplar la toma de medidas largo y ancho para determinar sus áreas y el peso que tenía cada una figura 16.

**Figura 17.** Muestra en prensa.



Una ves tomadas estas medidas y peso se procedió a llevar las muestras a la maquina universal para su compresión figura 17.

#### 5.5. Normativa para bloques de tierra comprimida.

En la actualidad la NSR10 instauro los requisitos y criterios de diseño, construcción y evaluación sísmica de las edificaciones en Colombia, en el caso de la mampostería establece en su titulo D “mampostería estructural” directrices y requisitos específicos

para la mampostería no estructural, esta mampostería no estructural no contribuye significativamente a la resistencia y estabilidad de la estructura en caso de un sismo.

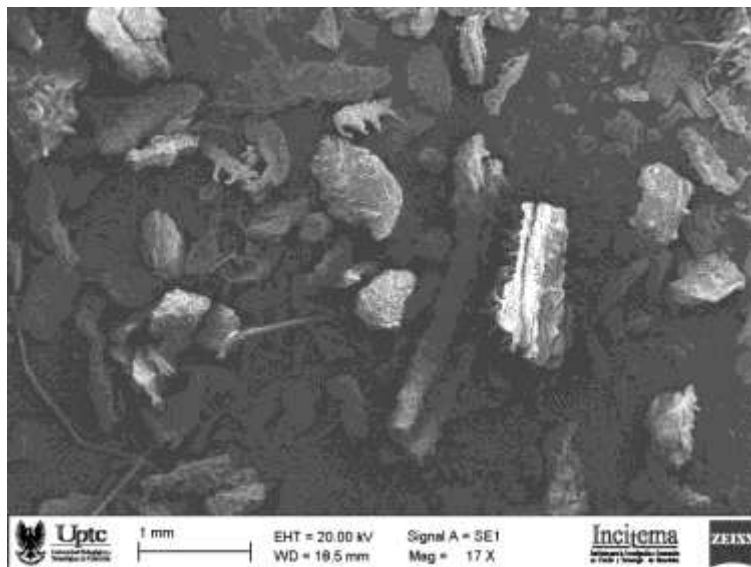
Para el caso de los BTC esta norma no lo contempla como un material sismo resistente, ya que no cuenta con una sección que hable de este material, por tal motivo en esta investigación se tomo como guía la NTC 5324 “Bloques de suelo cemento para muros y divisiones” en la cual habla de los procedimientos y recomendaciones para la construcción de muros de mampostería, incluyendo la preparación del terreno, la colocación de los bloques, la preparación y aplicación del mortero, la colocación de refuerzos y anclajes, entre otros aspectos. Abordando el tema de control de calidad y la inspección durante la construcción.

## 6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Caracterización Micro – estructural, Microscopia electrónica de barrido (MEB)

En la caracterización morfológica se estudió la hoja y flor triturada del cannabis de manera longitudinal esto bajo la vista del microscopio electrónico de barrido (MEB) figura 18.

**Figura 18.** Hoja cannabis bajo microscopio a 17X Microscopio de barrido.

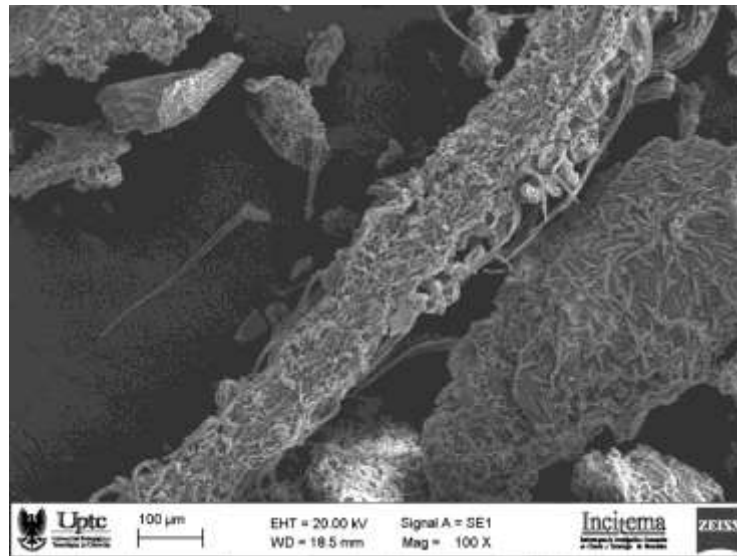


Fuente: Microscopio de barrido, Incitema.

Primero se mostrará las mediciones de las células presentes en las hojas del cannabis, ya que una relación de área con respecto a los lúmenes en la hoja da una percepción superficial del estado de la estructura frente a los esfuerzos mecánicos.

En la imagen 18 se puede observar la flor y hoja triturada a 17x, identificando que el tamaño de las células no supera los 3 milímetros y muestran tamaños uniformes en la sección analizada.

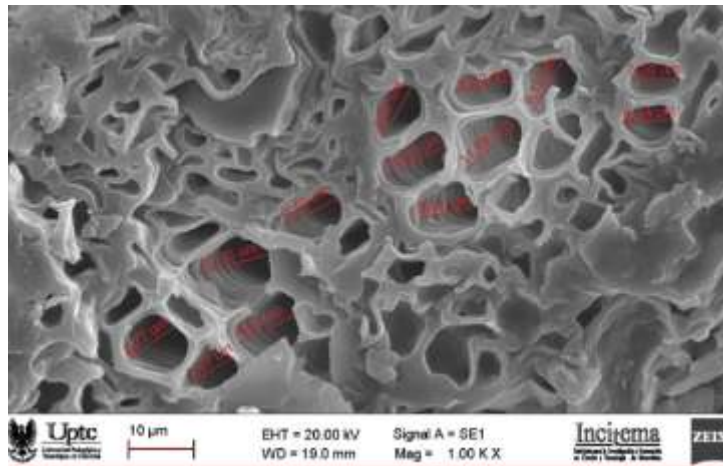
**Figura 19.** Hoja cannabis bajo microscopio a 100X Microscopio de barrido.



Fuente: Microscopio de barrido, Incitema.

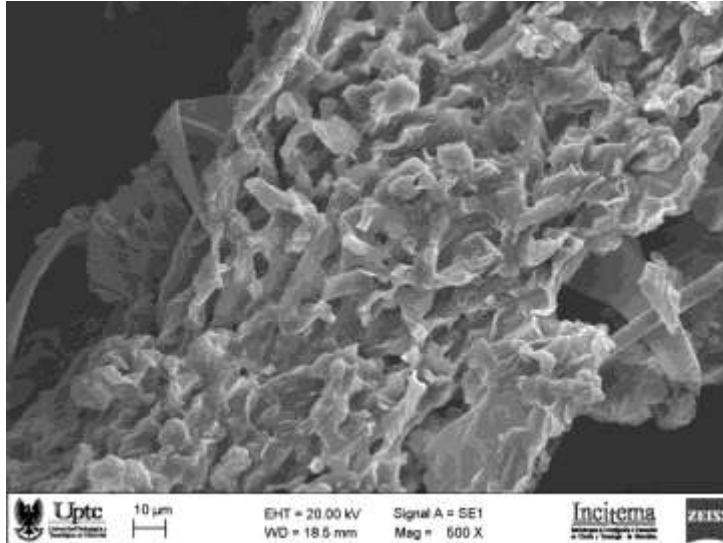
En las imágenes de la flor triturada se muestra la composición de las células con una ampliación de 100x figura 20, se pueden distinguir dos tipos, la primera que se refleja de manera circular con medidas de 8,77 µm, 7,87 µm, 9,61 µm, 11,30 µm, 9,49 µm, 9,32 µm, 8,81 µm, 10,32 µm, 8,92 µm, 11,69 µm, 9,19 µm, 8,04 µm y 7,08 µm. También se ven gran cantidad de residuos desprendidos los cuales son producidos debido al secado del material.

**Figura 20.** Medición de poros flor de cannabis bajo microscopio a 1.0 k X. Microscopio de barrido.



Fuente: Microscopio de barrido, Incitema.

**Figura 21.** Hoja cannabis bajo microscopio a 1.0 k X. Microscopio de barrido.



Fuente: Microscopio de barrido, Incitema.

En la Figura 21 se observa un patrón característico de foliolos o segmentos unidos a un punto central, se ven de manera deteriorada esto por ser una muestra, pero aun así se ve

que presentan una distribución simétrica y también se observa el desprendimiento de los tricomas de la planta.

## 6.2. Compresión de BTC.

### 6.2.1. Muestra 1.

Para la muestra uno se falló tres BTC los cuales en laboratorio fueron marcados como L1, L5 y L6 se obtuvieron los siguientes resultados antes de su compresión, los que corresponden a su peso y a su área por la posición de trabajo Tabla 5.

Tabla 5.

Pesos y áreas Muestra 1.

Muestra	Numero muestra	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )
1	L1	7,69	0,045
	L5	7,18	0,045
	L6	7,25	0,045

Una vez tomadas estas medidas y pesos se procedió al fallo de las muestras, dado el material se le introdujo una precarga a la prensa de 0.500 kN, la cual se aplicaría al área del BTC de 45000 mm<sup>2</sup>, a continuación, se muestran la curva de rotura de cada BTC y la carga máxima en MPa.

**Figura 22.** Grafica falla L1.



Carga máxima:	79.20 kN
Resistencia máxima:	1.76 MPa

Para el primer bloque de la muestra 1 se obtuvo una carga máxima de 79,208 kN y una resistencia de 1,760 Mpa figura 22, siendo esta la mayor carga de las muestras experimentales.

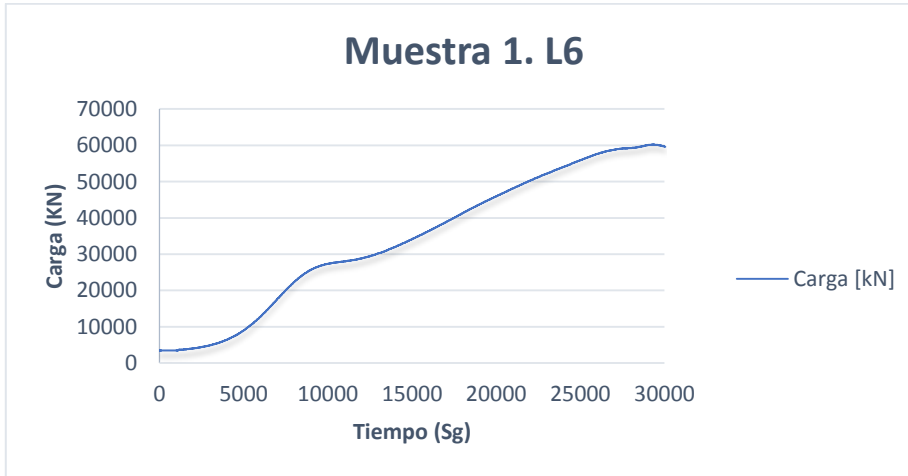
**Figura 23.** Grafica falla L5



Carga máxima:	53.84 kN
Resistencia máxima:	1.19 MPa

En la figura 23 se refleja los resultados a compresión del BTC L5 tuvo una carga máxima de 53.843 kN y una resistencia máxima de 1.197 MPa.

**Figura 24.** Grafica falla L6



Carga máxima:	60.22 kN
Resistencia máxima:	1.33 MPa

En la figura 24 se refleja los resultados a compresión del BTC L6 tuvo una carga máxima de 60.223 kN y una resistencia máxima de 1.338 MPa.

Tabla 6.

Resultados compresión muestra 1

Muestra 1	Numero muestra	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga máxima(kN)	Resistencia máxima (Mpa)
	L1	7,69	0,045	79,208	1,760
	L5	7,18	0,045	53,843	1,197
	L6	7,25	0,045	60,223	1,338
	Promedio			64,425	1,432
	Desv. Estándar			13,19	0,29

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos de la muestra 1, presentaron un promedio de carga equivalente a 64,42 kN y una variabilidad en los datos de carga máxima de 13,19 mientras que se tiene un promedio de 1,432 Mpa en su resistencia y una desviación estándar menor de 0,29.

6.2.2. Muestra 2

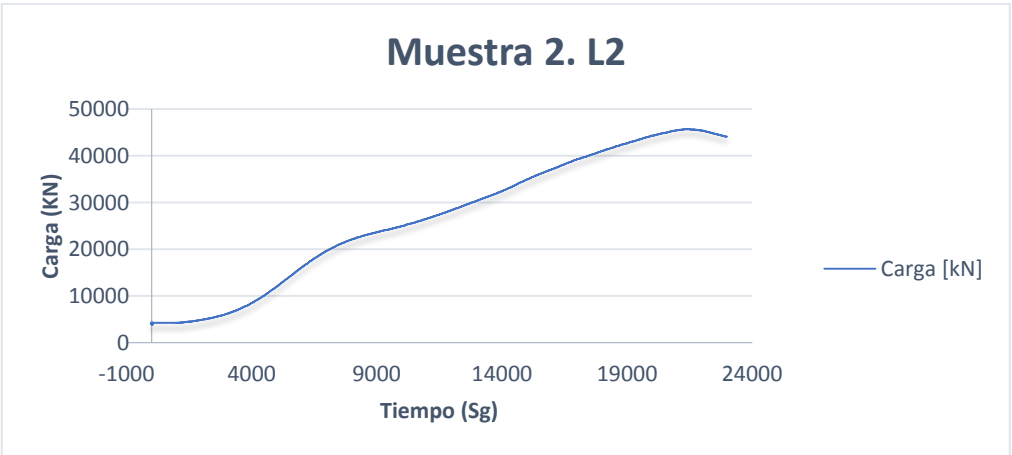
Para la muestra dos se fallaron tres BTC los cuales en laboratorio fueron marcados como L2, L3 y L4 se obtuvieron los siguientes resultados antes de su compresión, los que corresponden a su peso y a su área por la posición de trabajo Tabla 7.

Tabla 7.

Pesos y áreas Muestra 2

Muestra	Numero muestra	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )
2	L2	6,99	0,045
	L3	5,43	0,045
	L4	6,77	0,045

Figura 25. Grafica falla L2



Carga máxima:	45.61 kN
Resistencia máxima:	1.01 Mpa

En la figura 25 se refleja los resultados a compresión del BTC L2 tuvo una carga máxima de 45.691 kN y una resistencia máxima de 1.015 Mpa.

**Figura 26.** Grafica falla L3



Carga máxima:	20.54 kN
Resistencia máxima:	0.45 MPa

En la figura 26 se refleja los resultados a compresión del BTC L3 tuvo una carga máxima de 20.549 kN y una resistencia máxima de 0.457 Mpa.

**Figura 27.** Grafica falla L4



Carga máxima:	38.53 kN
Resistencia máxima:	0.85 MPa

En la figura 27 se refleja los resultados a compresión del BTC L4 tuvo una carga máxima de 38.532 kN y una resistencia máxima de 0.856 MPa.

Tabla 8.

Resultados compresión muestra 2.

Muestra	Numero muestra	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga máxima(kN)	Resistencia máxima (Mpa)
2	L2	6,99	0,045	45,691	1,015
	L3	5,43	0,045	20,549	0,457
	L4	6,77	0,045	38,532	0,856
	Promedio			34,924	0,776
	Desv. Estándar			12,95	0,29

En la tabla 8 se reflejan los resultados de la muestra 2, en los cuales se presentó un promedio de carga máxima de 34,92 kN con una desviación estándar 12,95 tabla 8,

debido a que el bloque L3 obtuvo una carga más baja que los L2 y L3 esto se pudo deber a un problema en el curado ya que ese ejemplar presento desmoronamiento antes de su falla; en cuanto a la resistencia máxima se tuvo un resultado de 0,777 con desviación estándar de 0,29.

Tabla 9.

Resultados compresión muestra 2.1.

Muestra 2	Numero muestra	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga máxima(kN)	Resistencia máxima (Mpa)
	L2	6,99	0,045	45,691	1,015
	L4	6,77	0,045	38,532	0,856
			Promedio	42,112	0,936
			Desv. Estándar	5,06	0,11

Si omitimos el resultado de la compresión de L3 teniendo en cuenta que al momento de hacer la falla la muestra estaba previamente deteriorada por un problema en el curado y viendo que esta en condiciones reales no se usaría en construcción por su baja calidad, tendríamos un promedio de carga de 42,11 con una desviación estándar de 5,06 y la resistencia máxima promedio sería de 0,936 con desviación estándar de 0,11 tabla 9, lo cual sería más idóneo teniendo en cuenta los resultados con el bloque L3.

### 6.3.3. Muestra patrón 1

Para el patrón 1 se fallaron dos BTC los cuales en laboratorio fueron marcados como L7 y L8 se obtuvieron los siguientes resultados antes de su compresión, los que corresponden a su peso y a su área por la posición de trabajo tabla 10.

Tabla 10.

Pesos y áreas Patrón 1.

Patrón 1	Numero muestra	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )
	L7	7,96	0,045
	L8	8	0,045

Figura 28.. Grafica falla L7



Carga máxima:	69.86 kN
Resistencia máxima:	1.55 MPa

En la figura 28 se refleja los resultados a compresión del BTC L7 tuvo una carga máxima de 69.866 kN y una resistencia máxima de 1.553 MPa.

**Figura 29.** Grafica falla L8



Carga máxima:	89.47 kN
Resistencia máxima:	1.98 MPa

En la figura 29 se refleja los resultados a compresión del BTC L8 tuvo una carga máxima de 89.473 kN y una resistencia máxima de 1.988 MPa.

Tabla 11.

Resultados compresión Patrón 1

Patrón 1	Numero muestra	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga máxima(kN)	Resistencia máxima (Mpa)
	L7	7,96	0,045	69,866	1,553
	L8	8	0,045	89,473	1,988
			Promedio	79,670	1,771
			Desv. Estándar	13,86	0,31

Para el patrón 1 se fallaron 2 muestras las cuales arrojaron una carga máxima promedio de 79,67 kN con desviación estándar de 13,86 y una resistencia máxima promedio de 1,77 Mpa con desviación estándar de 0,31 tabla 11.

#### 6.3.4. Muestra patrón 2

Para el patrón 2 se fallaron dos BTC los cuales en laboratorio fueron marcados como L9 y L10 se obtuvieron los siguientes resultados antes de su compresión, los que corresponden a su peso y a su área por la posición de trabajo tabla 12.

Tabla 12.

Pesos y áreas patrón 2.

Patrón 2	Numero muestra	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )
	L9	8,53	0,045
	L10	7,97	0,045

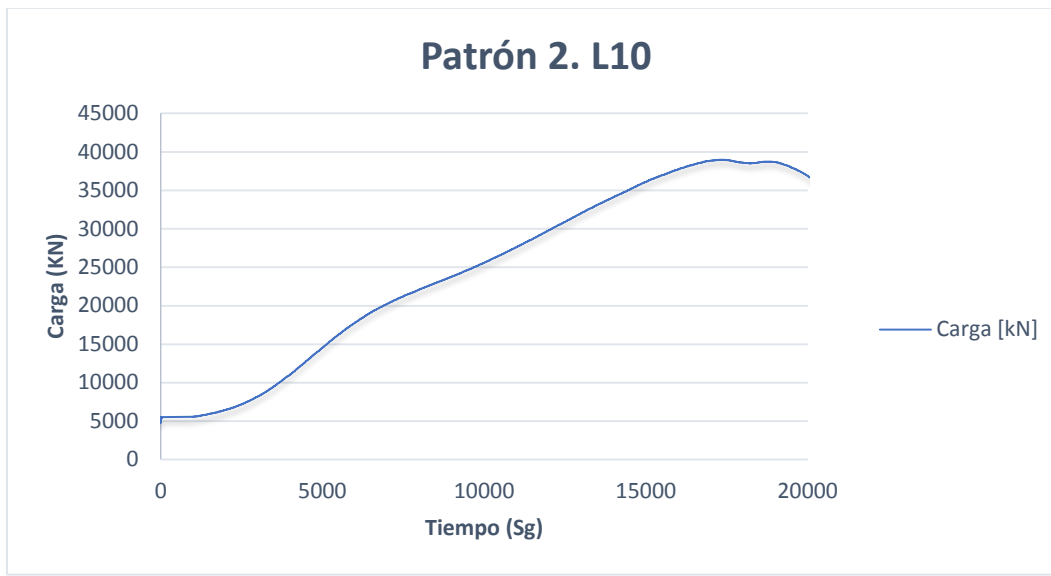
**Figura 30.** Grafica falla L9



Carga máxima:	83.85 kN
Resistencia máxima:	1.86 MPa

En la figura 30 se refleja los resultados a compresión del BTC L9 tuvo una carga máxima de 83.858 kN y una resistencia máxima de 1.864 MPa.

**Figura 331.** Grafica falla L10



Carga máxima:	38.94 kN
Resistencia máxima:	0.86 MPa

En la figura 31 se refleja los resultados a compresión del El BTC L10 tuvo una carga máxima de 38.943 kN y una resistencia máxima de 0.865 MPa.

Tabla 13.

Resultados compresión patrón 2

Patrón 2	Numero muestra	Peso (kg)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga máxima(kN)	Resistencia máxima (Mpa)
	L9	8,53	0,045	83,858	1,864
	L10	7,97	0,045	38,943	0,865
			Promedio	61,401	1,365
			Des. Estándar	31,76	0,71

Al fallar el patrón 2 se obtuvo una carga máxima promedio de 61,40 kN con una desviación estándar de 31,76 con una resistencia máxima de 1,36 Mpa, la cual es la mayor de las muestras falladas y presento una desviación estándar de 0,71 tabla 13.

Tabla 14.

Resultados de compresión de muestras

Resultados y Comparativo			
Experimental		Fabrica	
Muestra 1	Resistencia máxima (Mpa)	Patrón 1	Resistencia máxima (Mpa)
	1,43		1,77
Muestra 2	Resistencia máxima (Mpa)	Patrón 2	Resistencia máxima (Mpa)
	0,94		1,36

En la tabla 14 se reflejan los resultados y se realiza una comparación entre los resultados de los ejemplares fallados se obtuvo que la muestra 2 la cual tuvo una reducción mayor de los agregados de cemento y arena y una adición mayor de la hoja del cannabis tuvo un bajo rendimiento, esto se pudo deber a la falta de adherencia que tuvieron los agregados puesto que las muestras presentaron mayor grado de desboronamiento, en cuanto a su resistencia siendo la menor de las 4 muestras.

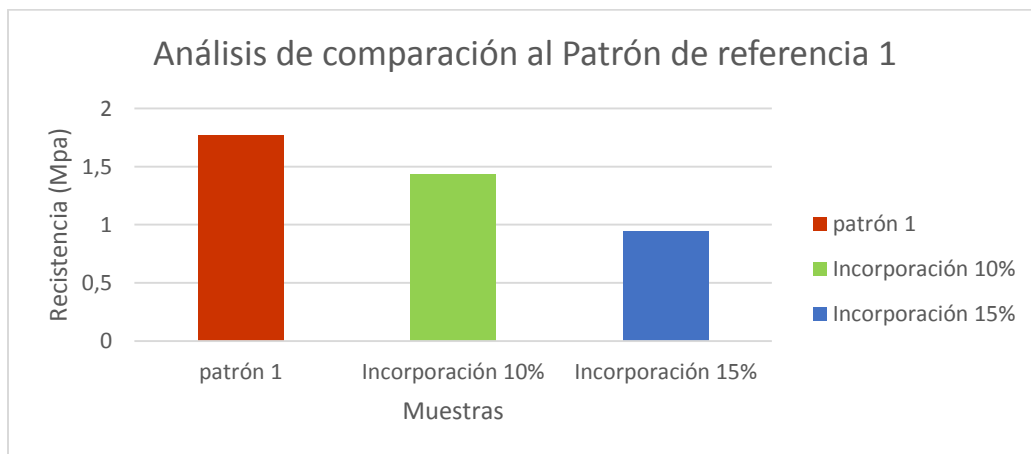
Por otra parte, la muestra 1 en la cual se disminuyó el cemento y la arena en un 10% y se agregó la hoja del cannabis también en un 10% presento resultados mayores a los

obtenidos en la muestra patrón 2 lo que se presenta como un resulta favorable para el estudio realizado, en estas muestras se reflejo una adherencia uniforme y una textura mas uniforme.

#### 6.3.5. Comparativo resultados experimentales con muestras patrón.

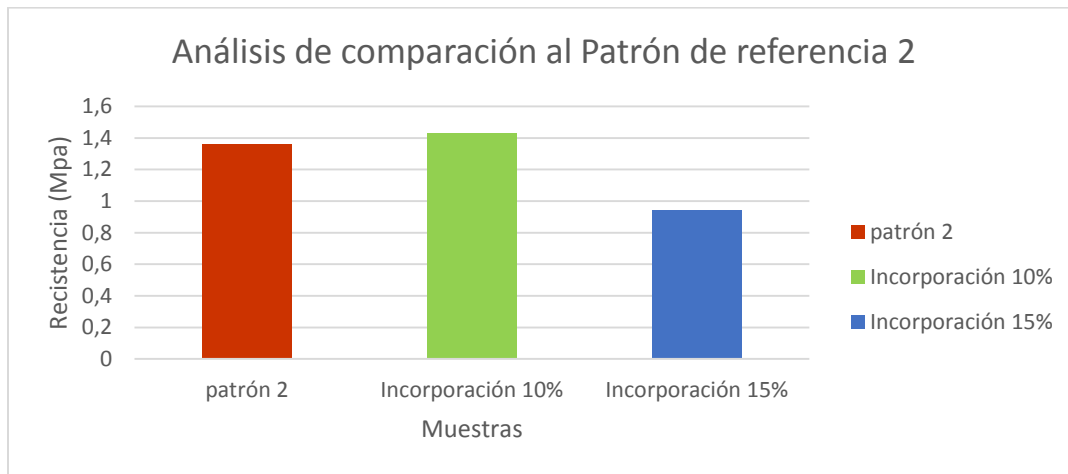
En la figura 32 se realiza el comparativo entre las muestras y el patrón 1 el cual obtuvo la mayor resistencia de las cuatro muestras con una diferencia de 0,34 Mpa con respecto a la muestra 1, que presento los mejores resultados en la muestra con cannabis, se identifica que con respecto a esta muestra el experimento no fue favorable ya que ninguna e las muestras supero o igualo la resistencia del patrón 1.

**Figura 32.** Comparativo muestra patrón 1.



En la figura 33 se realiza el comparativo entre las muestras y el patrón 2, la incorporación del 10% de agregado con cannabis reflejo superar la resistencia del patrón 2 mostrando ser viable en este caso, por otra parte, la incorporación del 15% del cannabis mostro no ser eficiente en la prueba de compresión ya que no mostro tener la resistencia suficiente y se quedo por debajo de los resultados esperados.

**Figura 33.** Comparativo muestra patrón 2.





**6.3.6. Fallas presentes en las muestras.**

En la Tabla 15 se evidencia la falla presente en las muestras, mostro ser la misma en los ejemplares con un 10% de cannabis como los patrones, a diferencia de la muestra 2 con un 15% de cannabis la cual tubo una falla mas grande, se reflejo la falta de adherencia de los materiales ya que presentaban un desmoronamiento mas fácil y no quedaban fragmentos de gran tamaño, se puede inferir que al aumentar la cantidad de cannabis y disminuir la arena y el cemento en estas cantidades es poco favorable para las muestras.

**Tabla 15.**

Fallas muestras experimentales y muestras patrón.

Falla muestras con cannabis	Fallas muestras Patrón
	

Muestra 2 con 15% de cannabis



## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

- Analizando la estructura superficial de la hoja triturada del cannabis estudiada bajo el microscopio muestra una repartición de restos de flor y hoja, en su mayoría formas circulares y alargadas mostrando un tamaño de partículas casi uniformes, la flor en su interior refleja una composición de las células variable con tamaños no superiores a los 3 milímetros, dado a que son residuos combinados de flor y hoja, en las células de flor se puede ver una distribución de poros continua con un tamaño promedio de 9,26  $\mu\text{m}$ , lo que no generara reducciones significativas en la resistencia del material ya que no generaran caminos de menor resistencia para la propagación de las fuerzas de compresión. Debido al proceso de preparación de la muestra y el proceso de triturado al que se somete esta planta en el invernadero donde se cultiva, no se pudo tomar a detalle los poros ya que se encuentran aplastados o en mala condición para una visualización más detallada.
- El resultado de la compresión de los BTC que se realizaron con esta hoja como agregado presentaron una variabilidad, se puede inferir que el agregar cannabis en bajas proporciones ayuda a disminuir la cantidad de agregado que se tiene que usar para la realización de estas muestras, el agregar un 10% de cannabis a la mezcla ayudaría a reducir en un 10% el total de cemento y arena que se incorpora comúnmente, generando una viabilidad en el uso de los residuos de esta planta en los bloques de tierra comprimida.

- Del análisis de los ensayos de compresión se pudo concluir que no es posible aumentar la cantidad de cannabis en más de un 15% ya que los BTC no adquirieron la resistencia necesaria en comparación con las muestras patrón y en su curado presentan desprendimientos lo que refleja una mala unión de los agregados.
- Según los resultados obtenidos se puede inferir que en los BTC se puede usar estos residuos del cultivo del cannabis en bajos porcentajes de adición generando una disminución de materiales como la arena y el cemento, presentando la ventaja en términos de sostenibilidad, como la reducción de emisiones de carbono y el uso de materiales renovables, se puede aprovechar un recurso renovable en lugar de depender exclusivamente de materiales no renovables, como los agregados tradicionales utilizados en la construcción de estos bloques de tierra comprimida.
- Al agregar el cannabis a la mezcla se miro un cambio significativo en la tonalidad resultante en los bloques, siendo un plus en estos especímenes ya que no tendrán un color tierra característico de los BTC.

## 7.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio de la hoja y la flor del cannabis sin ser triturada para hacer un comparativo de la distribución de los poros y su repartición de partículas.
- Para poder alcanzar mayor resistencia en lo BTC es recomendable hacer pruebas con mayor cantidad de porcentaje cemento para determinar si se puede alcanzar o superar la resistencias de las muestras patrón.
- Es necesario completar la metodología del ensayo de resistencia a la compresión descrita en la norma NTC4017, con un equipo que permita medir la deformación del bloque, para realizar el diagrama de esfuerzo-deformación unitario y determinar el módulo de elasticidad del bloque
- Es recomendable ver a los BTC como un material de construcción ambiental y ecológico, no apto para construcciones sismo resistente ya que no cumple con los estándares requeridos por la normatividad vigente.

## 8. GLOSARIO – MARCO TEORICO

8.1. BTC: Bloques de tierra comprimida y otros componentes, utilizado como elemento de construcción en paredes o muros de edificaciones (**Canola, Hernán Darío. et al 2018**).

8.2. PROPIEDADES MECÁNICAS: son características medibles que pueden ser afectadas al estar en contacto con agentes externos, afectando su posibilidad de transmitir o resistir fuerzas, transformaciones o cambios estructurales ( *Carvalho, M., et al 2016*).

8.3. PROPIEDADES FÍSICAS: son propiedades visibles fácilmente y medibles del estado físico de una materia, es decir que brindan características propias del objeto de estudio, como el color, la forma, la densidad, el tamaño, entre otras (*Carvalho, M., et al 2016*).

8.4. CANNABIS: especie vegetal con mayores propiedades psicoactivas que otras plantas, por su contenido en tetrahidrocannabinidiol (THC), razón por la cual es utilizado en cantidades reguladas también en la industria farmacológica y en proceso de innovación en la industria de la construcción (*Sánchez et al 2021*).

8.5. MICROESTRUCTURAL: Hace referencia a la relación de una subestructura que conforma al componente en conjunto y son visibles solamente a través de un microscopio en términos de materia. El análisis de las mismas permite conocer la forma, tamaño y organización de las estructuras en materiales (*Camargo, D. 2021*).

8.6. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MED): instrumentos de laboratorio que permite generar la imagen de muestras de materiales orgánicos o inorgánicos en partículas microscópicas a través de haz de electrones, generando información de estructura, forma y ubicación de las partes que lo conforman (*Camargo, D. 2021*).

8.7. ÓRGANICA: Sustancia química que está estrechamente relacionada con procesos o vivencias de organismos vivos o conformadas a base de carbono. (Real Academia Española)

8.8. FIBRA: Unidad o filamento de células que conforman un tejido, conservando características de textura y flexibilidad según el material. (*Camargo, D. 2021*).

8.9. BIOINGENIERIA: Rama disciplinaria de la ingeniería, que relaciona la aplicación de la medicina o biología con métodos y principios propios de la ingeniería para brindar soluciones innovadoras en campos de aplicación de seres vivos (*Introducción a la bioingeniería*).

8.10. AGREGADO: Compuesto de materiales similares que conforman una estructura homogénea de un cuerpo (*Real Academia Española*).

8.11. SOSTENIBILIDAD: cualidades de acciones, creaciones o construcciones que solventan necesidades de la actualidad sin tener consecuencias o afectaciones a futuro, ni con el entorno biológico al que pertenecen (*Gómez, J. 2014*).

8.12. CÁÑAMO: variedad de la Cannabis Sativa con concentraciones bajas de tetrahidrocannabinol (THC) utilizada en la fabricación de productos industriales médicos. Es también conocido como el tallo del Cannabis con mínimas propiedades psicoactiva (*Sánchez et al 2021*).

8.13. RESISTENCIA: Capacidad física en respuesta a acciones de fuerza o presión ejercidas a un material, garantizando que la forma y el estado del objeto permanezca en las condiciones iniciales de estudio (*Kirschbaum, J. 2012*).

8.14. ABSORCIÓN: Proceso de incorporación o ingreso de sustancias a otros cuerpos, en el cual existe traspaso de materia y se dispersa completamente en el nuevo cuerpo.

8.15. CIMVA RAM: Maquina diseñada por el Ingeniero Raúl Ramírez con la cual se fabrican ladrillos por medio de la compresión (*CINVA – RAM MÁQUINA PARA FABRICAR BLOQUES DE SUELO - CEMENTO. 2010*).

8.16. MORFOLOGÍA: estudio de la organización, distribución y/o forma de un material en el espacio que se encuentra establecido (*Camargo, D. 2021*).

8.17. FOLILOLO: Es una parte separada de una hoja, que en conjunto entre varios foliolos conforma una hoja en su compuesta (*Real Academia Española*).

8.18. CORROSIÓN: Proceso de desgaste físico de un material al estar expuesto a cambios químicos o del entorno, por afectaciones de agentes externos como el oxígeno. (*Carvajal Corredor, I. L. & Terreros Rojas, L. E. 2022*).

8.19. ALCALINIDAD: Propiedad de un elemento para neutralizar ácidos y mantener estable el PH del mismo. (*Carvajal Corredor, I. L. & Terreros Rojas, L. E. 2022*).

8.20. CURADO: Proceso de secado, endurecimiento y fortalecimiento de un material a través del tiempo (*Gutiérrez, D. E. 2019*).

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

López Letón, S. (2018, 13 octubre). El cannabis le plantacara al ladrillo. El País. [https://elpais.com/economia/2018/10/11/actualidad/1539248215\\_081925.html](https://elpais.com/economia/2018/10/11/actualidad/1539248215_081925.html).

Huelgos Reyes, M. A. (2021). *Prototipos constructivos aplicables en las construcciones alternativas en base a las fibras de la industria del cannabis*. Universidad Antonio Nariño.

Carvajal Corredor, I. L. & Terreros Rojas, L. E. (2022). *Uso de la fibra de cáñamo para mejorar las propiedades mecánicas del Concreto*. Universidad Católica de Colombia.

García, A. (2021). *Características morfológicas de la planta de cannabis sativa I*. Siemcol.

Ninikas, K., Mitani, A., Koutsianitis, D, Ntalos, G.; Taghiyari, H.R. Papadopoulos, A.N. *Thermal and Mechanical Properties of Green Insulation Composites Made from Cannabis and Bark Residues*. J. Compos. Sci. 2021, 5, 132.

Martínez Cubides, L. F. (2021). *Propuesta de paneles aislantes termo acústico divisorio a base de cáñamo y resina de pino, como alternativa al uso de polímeros sintéticos en construcción*. Universidad La Gran Colombia.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Tomo 2*. Bogota, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica

ICONTEC. 2004. *NTC 5324 bloques de suelo cemento para muros y divisiones. definiciones, especificaciones, método de ensayo, condiciones de entrega* <http://www.libreriadelau.com/ntc-5324-bloques-de-suelo-cemento-para-muros-y-divisiones-definiciones-especificaciones-metodos-de-ensayo-condiciones-de-entrega/icontec-null-ingenieria-civil/p>.

Hernández, Y. S., Gutiérrez Junco, O. J. & Acuña Flórez, C. A. (s. f.). *Resistencia a compresión de cilindros de concreto reforzados con fibra de cáñamo*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Sánchez- Hernández, Y. J., Martínez-Montaña, M., y Gutiérrez-Junco, O. (2021). *Estrategia competitiva en el sector Construcción: Uso de fibras de Cáñamo*. Revista venezolana de Gerencia, 26 (Número Especial 5), 578-595

Instituto para la investigación e innovación en ciencia y tecnología de materiales. (s/f). Edu.co. Recuperado el 26 de septiembre de 2022, de

[http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/direccion\\_investigaciones/inst\\_investigacion/incitema/doc/brouchure\\_incitema\\_2021.pdf](http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/direccion_investigaciones/inst_investigacion/incitema/doc/brouchure_incitema_2021.pdf).

Ospina, O. A. (2019). *Diseño de modelo de negocio verde a partir de la producción de ladrillos a base cáñamo industrial*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12495/2617>.

Tomasi, J., Bellmann, L.; Adobe; Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño; Estructuras; 1; 2; 11-2018; 18-27.

Gutiérrez Chávarry, D. G. (2019). "EFECTO DE TRES PORCENTAJES DE FIBRA NYLON DE CÁÑAMO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL ADOBE COMPACTADO" [Tesis]. UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE.

Morales, R., Yamashiro, R., Sánchez, A., Torres, R., Irala, C., Morales, O., & Rengifo, L. (n.d.). DISEÑO SISMICO DE CONSTRUCCIONES DE ADOBE. In UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL. CISMID-FIC-UNI.

Pàliz, D. (2014). *Factibilidad del uso del raquis de palma africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos* [Tesis de grado]. Escuela superior politécnica de chimborazo.

Rivera, H., Valderrama, M., Daza, A. y Plazas, G. (2021). *Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare (Colombia)*. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 23(1), 74-85. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2762>.

DANE. (2014). *Censo nacional agropecuario*.

Arteaga, K., Medina, O., & Gutiérrez, O. (2011). *Bloque de tierra comprimida como material constructivo*. *Revista facultad de ingeniería*. Colombia.

Caballero, M., Silva, L. & Montes, J. L. (2010). *Resistencia mecánica del adobe compactado incrementada por bagazo de agave*. México: Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo integral unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional.

Cotrino, A., Limay, W. y López, D. (2014). *Comparación de la resistencia a la compresión de unidades de adobe sin paja con unidades de adobe con paja en Cruz Blanca – Cajamarca – Cajamarca*. Perú: Universidad Privada del Norte de Cajamarca.

Blondet, M., Villa, G., & Brzev, S. (2003). *Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos: Tutor*. *Enciclopedia Mundial De Vivienda Del EERI/IAEE*.

CINVA – RAM Máquina para fabricar bloques de suelo - cemento. (2010). Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo, 11.12.87.

CANOLA, H., BUILES, A., MEDINA, C., & GONZALEZ, G. .Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *TecnoL*. [online]. 2018, vol.21, n.43, pp.135-145. ISSN 0123-7799. <https://doi.org/10.22430/22565337.1061>.

Carvalho, M., Ramos, F., Zegarra, J., & Pereira, C. (2016). Evaluación a lo largo del tiempo de las propiedades mecánicas de los bloques de suelo-cemento utilizados en pavimentos semipermeables. *Revista ingeniería de construcción*, 31(1), 61-70. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732016000100006>.

CAMARGO, D. (2021). Caracterización morfológica de la fibra de fique (*furcraea andina*) para uso en obras de bioingeniería [tesis]. Universidad Santo Tomás.

GÓMEZ, J. (2014). Del desarrollo sostenible a la sustentabilidad ambiental. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 22(1), 115-136. Retrieved June 10, 2023, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-68052014000100009&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-68052014000100009&lng=en&tlng=es).

Kirschbaum, J. (2012) Estudios de resistencia a la compresión en bloques de suelo-cemento ; Asociación Argentina de Energía Solar; Avances en Energías Renovables y Medio.

Cáceres, K. (2017). Análisis de la resistencia mecánica del adobe estabilizado con cal y compactado para construcciones ecológicas - económicas en Cajamarca (Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca). Recuperado de <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/181256>

Serrano, S., Barrenache, C., & Cabeza L. (2016). Uso de sub productos como aditivos en ladrillos de adobe

## 10. ANEXOS

Anexo 1. Acopio de tierra muestra 1.



Anexo 2. Almacén de bloques BIO-constructor.



Anexo 3. Preparación de diseño de mezcla mezclas.



Anexo 4. Preparación de mezclas.



Anexo 5. Aplicación de ACPM a la maquina CIMVA RAM.



Anexo 6. Compresión de bloques en CIMBA RAM



Anexo 7. Compresión de bloques en CIMBA RAM.



Anexo 8. L1 en prensa.



Anexo 9. Grafica carga L1.



Anexo 10. Peso de L2



Anexo 11. L2 en prensa.



Anexo 12. Grafica carga L2.



Anexo 13. Peso L3.



Anexo 14. L3 en prensa.



Anexo 15. Grafico carga L3.



Anexo 16. Peso L4.



Anexo 17. L4 en prensa.



Anexo 18. Falla L4.



Anexo 19. Grafica carga L4.



Anexo 20. Peso L5.



Anexo 21. L5 en prensa.



Anexo 22. Falla L5.



Anexo 23. Peso L6.



Anexo 24. Falla L6.



Anexo 25. Peso L7.



Anexo 26. L7 en prensa.



Anexo 27. Peso L8.



Anexo 28. Falla L8.



Anexo 29. Peso L9.



Anexo 30. Falla L9.



Anexo 31. Peso L10.



Anexo 32. L10 en prensa.

