



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR - LOJA
ESCUELA PARA LA CIUDAD, PAISAJE Y LA ARQUITECTURA**

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

TEMA

**ANÁLISIS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE TIERRA
COMPRIMIDA (BTC) USANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR
(CBA) COMO ADICIÓN.**

AUTOR

WALTER ENRIQUE TORRES ABAD

DIRECTOR

Mg. Arq. FERNANDO MONCAYO SERRANO

**MARZO 2021
LOJA- ECUADOR**

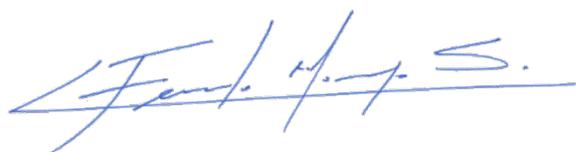
Yo, **Walter Enrique Torres Abad**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría: que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación personal y que se encuentra respaldado con la respectiva bibliografía.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la **Universidad Internacional del Ecuador**, para que el presente trabajo sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual y demás disposiciones legales.

Handwritten signature of Walter Enrique Torres Abad in black ink, featuring a stylized 'W' and 'E'.

Walter Enrique Torres Abad

Yo, **Mgs. Arq. Fernando Moncayo Serrano**, certifico que conozco el autor del presente trabajo siendo él el responsable exclusivo, tanto de originalidad, autenticidad, como de su contenido.

Handwritten signature of Fernando Moncayo Serrano in blue ink, featuring a stylized 'F' and 'S'.

Mg. Arq. Fernando Moncayo Serrano

DIRECTOR DE TESIS

*A Dios, mis padres Walter Torres Cueva,,
Chanena Abad Escudero y mi hermana
Sthefany por su apoyo a cada momento.*

*A mis tías por aconsejarme en cada
momento de mi vida.*

*Al Mg. Arq. Fernando Moncayo Serrano
por su saber y orientación durante todo el
transcurso de la investigación.*

*A mi Padre por la ayuda brindada en
cada etapa de la investigación.*

Resumen

El crecimiento de las ciudades donde las fábricas artesanales predominan bastante y la previsión de viviendas en todo el mundo especialmente en países en desarrollo ha sido un reto. En el cantón Catamayo las industrias azucareras producen gran cantidad de bagazo de caña de azúcar y fábricas de ladrillo gran cantidad de CO₂. Esta investigación pretende caracterizar la resistencia a compresión y flexión de suelos de ladrilleras artesanales con adición de 0% 25% y 50% de ceniza de bagazo de caña de azúcar en relación al cemento de los Bloque de Tierra Comprimida. Se prepararon 54 probetas a 7 días, 14 días y 28 días, los mejor resultados se obtuvieron con 50% de ceniza 3.9 Mpa. Se concluye que la combinación de ceniza en adición a los bloques de suelo comprimido parece ser una alternativa prometedora cuando se considera consumo de energía, construcción en viviendas de bajo costo y contaminación.

Palabras clave: Bloque de Tierra Comprimida (BTC), Bagazo de caña de azúcar y Ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBA).

Abstract

The growth of cities where artisanal factories predominate and the housing provision around the world especially in developing countries has been a challenge. In the Catamayo canton, the sugar industries produce a large amount of sugarcane bagasse and brick factories produce a large amount of CO₂. This research aims to characterize the compressive and flexural strength of artisan brick kiln floors with the addition of 0%, 25% and 50% sugarcane bagasse ash in relation to the cement of the Compressed Earth Block. 54 specimens were prepared at 7 days, 14 days and 28 days, the best results were obtained with 50% ash 3.9 MPa. It is concluded that the combination of ash in addition to compressed soil blocks seems to be a promising alternative when considering energy consumption, low-cost housing construction and pollution.

Keywords: Compressed Earth Block (CEB), Sugarcane Bagasse and Sugarcane Bagasse Ash (SCBA)

**ANÁLISIS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE TIERRA
COMPRIMIDA (BTC) USANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR
(CBA) COMO ADICIÓN.**

Resumen	v
Índice de figuras	x
Índice de tablas	xiii
Índice de anexos	xiv
Capítulo 1	1
1. Plan de Investigación	1
1.1 Tema de investigación.....	1
1.2 Problemática.....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.	3
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Metodología de investigación	4
1.6.1 Literatura.....	5
1.6.2 Normas.....	5
1.6.3 Experimental.....	5
1.6.4 Estadístico.....	5
1.6.5 Revisión Descriptiva.....	5
Capítulo 2	6
2. Marco Teórico	6
2.1 Estado del arte	6
2.2 Marco Teórico.....	14
2.2.1 La tierra como material de construcción.....	15
2.2.2 Área geográfica de estudio.....	16
2.2.3 Producción artesanal de material para construcción en Catamayo	16
2.2.4 Bloques de tierra comprimida BTC	17
2.2.5 La construcción con bloque de tierra comprimida.....	18

2.2.6 Caña de azúcar	23
2.2.7 Estado de recolección de recursos	25
2.3 Marco normativo	27
2.3.1 Normativa internacional para BTC	27
2.3.2 UNE 41410 2008.	28
Capítulo 3	31
3. Metodología.....	31
3.1 Proceso para elaboración de BTC utilizando CBA en remplazo parcial de cemento estabilizante.....	31
3.2 Descripción de materiales utilizados para BTC	32
3.2.1 Tierra.....	32
3.2.2 Clasificación del suelo de muestra.....	33
3.2.3 Clasificación de la CBA.....	36
3.2.3 Estabilizante	39
3.2.4 Agua	39
3.3 Herramientas	42
3.3.1 Herramientas para la elaboración de probetas	42
3.3.2 Herramientas para pruebas de laboratorio	45
3.4 Molde	45
3.5 Diseño de mezcla	47
3.5.1 Datos generales de las probetas para flexión y compresión.....	48
3.5.2 Preparación de la mezcla	51
3.5.3 Probetas elaboradas	57
3.4.3 Observaciones	60
Capítulo 4	61
4. Resultados.....	61
4.1 Análisis de resultados.....	61
4.1.1 Resistencia a la compresión	61
4.1.2 Resistencia a la flexión.	65
4.2 Resumen de probetas	68
4.2.1 Ensayos de resistencia del ladrillo cerámico.....	71
4.2.2 Promedios de resistencia	72
4.3 Interpretación de resultados	72
Conclusiones.....	78

Recomendaciones79
Bibliografía.....80
Anexos.....83

Índice de figuras

Figura 1. Metodología de investigación	4
Figura 2. Tratamiento de ceniza por tamizado	13
Figura 3. Resistencia a compresión con CBA y sin CBA	13
Figura 4. Distribución geográfica de arquitectura con tierra.....	14
Figura 5. De izquierda a derecha, la caña de azúcar y adyacente las fábricas de ladrillo.	16
Figura 6. Lugar de recolección de muestras de materiales.....	17
Figura 7. El uso de los BTC han sido introducidos en la construcción por su variedad de uso que se le puede dar	18
Figura 8. Culturas constructivas	18
Figura 9. Proceso de fabricación de BTC.....	20
Figura 10. Escuela en Burkina Faso	21
Figura 11. Escuela en Burkina Faso	21
Figura 12. Centro de Arquitectura de la Tierra.	22
Figura 13. Centro de Arquitectura de la Tierra.	22
Figura 14. Bloque de tierra comprimida en Chuquiribamba.....	23
Figura 15. Contaminación ambiental por hornos de ladrillo	25
Figura 16. Tierra de muestra para elaboración de probetas.....	25
Figura 17. Terreno agrícola destinado para caña azúcar (izquierda) y fabrica artesanal de ladrillo de arcilla (derecha).	26
Figura 18. Bagazo de caña de azúcar industrial.	26
Figura 19. Bagazo de caña de azúcar artesanal	26
Figura 20. Número de normas vigentes.....	27
Figura 21. Dimensiones.....	28
Figura 22. Estructura y textura de la tierra	33
Figura 23. Zona recomendada del diagramad de plasticidad de tierra	33
Figura 24. Diagrama de texturas de la tierra	34
Figura 25. Curva granulométrica.....	35
Figura 26. Esquema de horno artesanal.....	37
Figura 27. Combustión de bagazo en horno artesanal.....	37
Figura 28. 70% de ceniza de bagazo de caña de azúcar	38
Figura 29. Curva de compuestos químicos de CBA.....	38
Figura 30. Estabilizante en partículas de tierra.....	39

Figura 31. Relación agua - mezcla	40
Figura 32. Comportamiento del agua en diferentes suelos.....	41
Figura 33. Mezcla de Suelo limoso + cemento + CBA (cohesivo).....	41
Figura 34. Prensa hidráulica con capacidad de resistencia de 12 Ton y gato hidráulico de 12 Ton añadido un manómetro con capacidad de 2000 psi.	42
Figura 35. Guantes de hule Nro. 9.....	42
Figura 36. Balanza de resorte con capacidad de 5kg.....	43
Figura 37. Balanza de resorte con capacidad de 50kg.....	43
Figura 38. Recipiente de plástico con peso de 1lb	43
Figura 39. Herramienta para mezclar los materiales	44
Figura 40. Tamiz número 10 de abertura 1.0 mm	44
Figura 41. Martillo de goma.....	44
Figura 42. Calibrador mecánico	45
Figura 43. Balanza de precisión	45
Figura 44. Parte lateral del cajón del molde vista en perspectiva.....	46
Figura 45. Cajón de acero vista perspectiva	46
Figura 46. Tapa superior.....	46
Figura 47. Tapa inferior.....	47
Figura 48. Concepto de elaboración de mezcla.....	49
Figura 49. Proceso de diseño de mezcla.....	51
Figura 50. Ceniza de bagazo de caña de azúcar	52
Figura 51. Cemento	52
Figura 52. Tierra limosa tamizada.....	53
Figura 53. Mezcla realizada con dosificación con 50% CBA.....	53
Figura 54. Resultado de mezclar con agua	54
Figura 55. Prueba empírica de la tierra.....	54
Figura 56. Resultado de la prueba empírica	55
Figura 57. Se compacta las esquinas para evitar imperfecciones.....	55
Figura 58. Desmoldado de BTC vista superior	56
Figura 59. BTC desmoldado.....	56
Figura 60. BTC con 0% de CBA a los 28 días de fraguado.....	57
Figura 61. BTC con 0% de CBA a los 14 días de fraguado.....	57
Figura 62. BTC con 25% de CBA a los 28 días de fraguado.....	58
Figura 63. Comienzo del proceso de fraguado de BTC con 50% de CBA	58

Figura 64. BTC con 50 % de CBA a los 28 días de fraguado	59
Figura 65. Proceso de curado del BTC.....	59
Figura 66. Se asienta en un cartón húmedo dentro de una habitación cerrada para su fraguado.....	60
Figura 67. Se mide la probeta antes del ensayo.....	61
Figura 68. Inicio de ensayo a compresión	62
Figura 69. Esfuerzo máximo de resistencia de la probeta	63
Figura 70. Los datos indican una resistencia máxima de 3.9 Mpa.....	63
Figura 71. Resultado lateral del BTC	64
Figura 72. Resistencia a la compresión	64
Figura 73. Diámetro de soporte para la ruptura a flexión.....	65
Figura 74. Se mide la longitud del soporte.....	65
Figura 75. Se coloca los apoyos en una base de plastilina y se posiciona el BTC.....	66
Figura 76. Libras fuerza.....	66
Figura 77. Resistencia máxima obtenida 715 lbf	67
Figura 78. Resistencia a flexión	68
Figura 79. Resistencia 7,14 y 28 días con 0% de CBA	69
Figura 80. Resistencia 7,14 y 28 días con 25% adición de CBA	70
Figura 81. Resistencia 7,14 y 28 días con 50% adición de CBA	71
Figura 82. Ensayos de resistencia del ladrillo cerámico.....	71
Figura 83. Comparación de resultados a compresión.....	74

Índice de tablas

Tabla 1. Procesos de elaboración de BTC con diferentes métodos y diseños.....	7
Tabla 2. Pruebas mecánicas.....	13
Tabla 3. Características BTC.....	14
Tabla 4. Compuestos de elementos encontrados en la ceniza de bagazo de caña de azúcar..	24
Tabla 5. Datos generales de las normas a considerar	27
Tabla 6. Resistencia normalizada UNE 40401	30
Tabla 7. Variable dependiente e independiente.....	31
Tabla 8. Variable independiente.....	31
Tabla 9. Clasificación de suelo, Límites de Atterberg	34
Tabla 10. Granulometría.....	34
Tabla 11. Clasificación.....	35
Tabla 12. Rango más adecuado de cemento para estabilización con respecto a la clasificación del suelo	36
Tabla 13. Características químicas de la ceniza	38
Tabla 14. Datos generales de las probetas.....	48
Tabla 15. Resumen de probetas a compresión	51
Tabla 16. Resumen de probetas a flexión.....	52
Tabla 17. Características para ensayo a compresión	62
Tabla 18. Resistencia 7,14 y 28 días con 0% de CBA	68
Tabla 19. Resistencia 7,14 y 28 días con 25% adición de CBA.....	69
Tabla 20. Resistencia 7,14 y 28 días con 50% adición de CBA.....	70
Tabla 21. Resistencia de ladrillo cocido para Mampostería.....	72
Tabla 22. Promedio de resistencia a compresión	72
Tabla 23. Promedio de resistencia a flexión.....	72
Tabla 24. Composición química de la ceniza de bagazo.....	73
Tabla 25. Papel de la ceniza de bagazo en el desempeño de bloques	73
Tabla 26. Comparación de resultados.....	74
Tabla 27. Precio de BTC en la presente investigación en (elaboración doméstica).....	76
Tabla 28. Comparaciones con los valores exigidos por las normativas	77

Índice de anexos

Anexos 1. Certificado de ensayos en laboratorio de “GEONCOS”	83
Anexos 2. Informe Resultante de Ensayos a Compresión con Adiciones del 0.0 Kg, 0.25 Kg y 0.50 Kg de CBA.....	84
Anexos 3. Informe Comparaciones de Ensayos a Compresión con Adiciones del 0.0 Kg, 0.25 Kg y 0.50 Kg de CBA.....	85
Anexos 4. Informe Resultante de Ensayos a Flexión con Adiciones del 0.0 Kg, 0.25 Kg y 0.50 Kg de CBA.....	86
Anexos 5. Informe Comparaciones de Ensayos a Flexión con Adiciones del 0.0 Kg, 0.25 Kg y 0.50 Kg de CBA.....	87
Anexos 6. Informe de caracterización y clasificación de la tierra.....	88
Anexos 7. Informe de caracterización y clasificación de la CBA.....	89

Capítulo 1

1. Plan de Investigación

1.1 Tema de investigación

“Análisis de las propiedades mecánicas de bloque de tierra comprimida usando ceniza de bagazo de caña de azúcar como adición”

1.2 Problemática

La contaminación ambiental es un problema mundial que ha incrementado en las últimas décadas, actualmente ciudades en los países con pocos o medianos ingresos y con más de 100.000 habitantes no cumplen con las directrices de calidad del aire de la OMS, comprometiendo a ciudades en crecimiento donde se desarrollan fábricas industriales y artesanales que la combustión predomina en muchas de ellas.

En las fábricas artesanal de ladrillo para la elaboración del material es sometido a cocción en un horno durante un periodo de tiempo entre 20 a 24 horas, utilizando madera como principal material de combustión, por otro lado la caña de azúcar se le hacen algunos procesos para obtener productos elaborados en la que se generan grandes cantidades de bagazo donde es utilizado para manejo de combustible de biomasa, tratamiento de desechos biodegradables mediante el compostaje, producción de abonos orgánicos sólidos, entre otros.

En la provincia de Loja la mayor productora es la empresa MALCA azucarera Monterrey, ubicada en el cantón Catamayo, según para INEC, ESPAC para el 2017, se calculó 678.873 Tm de caña de azúcar, con una participación nacional del 7.52% y una superficie cosechada de 5.632 ha.

La baja aceptación de alternativas constructivas se ha visto reflejada en el escaso interés de investigar el uso de la tierra como material de construcción que pueden beneficiar el sector de la construcción, factibilidad de material y ambientales. El material para el uso estructural o mampostería se debe aprobar normativas de sus propiedades física-mecánica esto limita su uso. Teniendo en cuenta la situación del cambio climático, los recursos, surge

buscar alternativas de materialidad. La presente investigación pretende experimentar capacidades mecánicas del bloque de tierra compactado incluyendo ceniza del bagazo de caña de azúcar en adición al BTC en relación al del cemento.

1.3 Justificación

En casi todos los climas cálidos, áridos y templados, la tierra es un material utilizado desde la antigüedad para levantar variedad de espacios arquitectónicos por todo el mundo y actualmente las edificaciones a base de tierra no ha perdido protagonismo en países en desarrollo y en algunas ciudades predomina. Incluso hoy, un tercio de la población humana reside en casas de tierra; en los países en desarrollo esta cifra es más de la mitad, sus características naturales la convierten en una de las tecnologías constructivas más importantes y está disponible en la mayoría de las regiones del mundo (Gernot Minke 2006).

La construcción con tierra es una de las técnicas más antiguas usada para edificar, las cuales son: el Adobe, Bahareque, Tapia Pisada y actualmente los Bloques De Tierra Comprimidos, adaptándose a cada entorno donde se desarrolle una comunidad. La tierra continuara siendo un material de construcción de fácil acceso abundante e ilimitado. Las técnicas avanzadas de construcción de tierra recientemente desarrolladas demuestran beneficio del uso de la tierra, cada vez más personas que construyen viviendas exigen viviendas rentables y energéticos que enfaticen su confort y su accesibilidad.

La arquitectura está en la obligación de buscar soluciones en el ámbito de la construcción y materialidad, siendo esta misma la responsable de agotar los recursos para edificar. Se sabe que la industria de la construcción produce el 50% de la contaminación mundial, lo que la convierte en la actividad poco sostenible (Dueña del Río, 2013).

Por otra parte, las grandes cosechas de caña de azúcar han generado grandes cantidades de residuos sólidos que son actualmente el subproducto de la actividad humana y su incremento es proporcional a consecuencia del incremento poblacional y del desarrollo industrial.

En las últimas décadas se han inventado formas de reutilizar las cantidades industriales de bagazo de caña que producen las azucareras, el Worl Atlas menciona como mayor

productor mundial a Brasil con 739.300.000 de toneladas. Estudios mencionan que la CBA contienen puzolanas, cal, silicatos la cual se extrae de una combustión controlada. En un caso de estudio, la molienda en el molino vibratorio durante 120 minutos permite la producción de una CBA con índice de actividad puzolánica es del 100% (Cordeiro et al. 2010).

La investigación se encaminará a la experimentación únicamente del tratamiento de CBA en relación a su comportamiento de resistencia de material en adición al BTC respecto al del cemento. En este contexto, se anhela en aumentar la estabilidad de los BTC como material de construcción, la rapidez de construcción, un material competitivo como el ladrillo cerámico y reducir la mancha contaminante que genera la industria de la construcción; y así incentivar a introducirse de manera integral sobre los avances de materiales que genera la contemporaneidad constructiva y profundizar los intereses de la construcción con tierra.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Determinar la resistencia de un bloque de tierra comprimida (BTC), con tierra de ladrilleras artesanales de la ciudad de Catamayo, empleando ceniza de caña de azúcar (CBA) como adición.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Determinar la mezcla de BTC con adiciones de ceniza de bagazo mediante procesos de experimentación para obtener características mecánicas aceptables para la construcción.
- Determinar las características mecánicas de BTC con adiciones de CBA mediante pruebas de laboratorio para relacionarlas con los estándares normativos UNE 41410, NEC-SE-CG 2011, NTC 5324 2004 y NTP E. 0.80 2000
- Estudiar las características mecánicas resultantes de los BTC que favorece la construcción de viviendas a bajo costo.

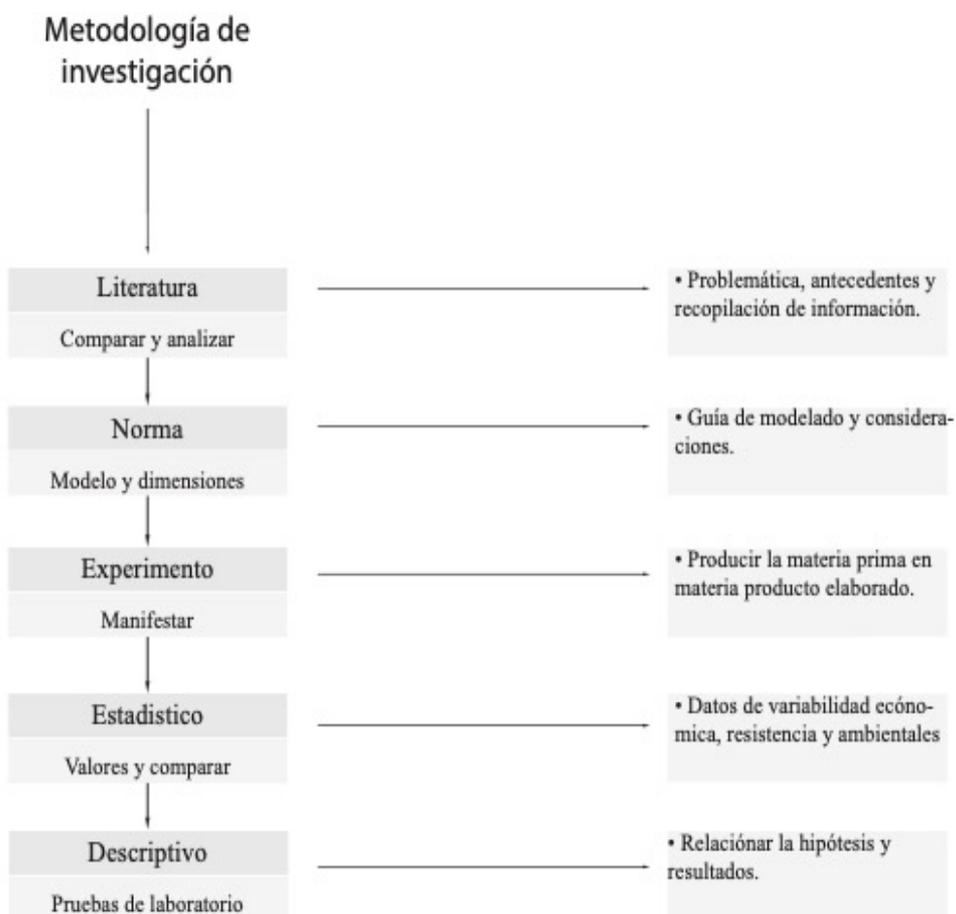
1.5 Hipótesis

La elaboración de bloques de tierra comprimida con ceniza de bagazo de caña de azúcar en adición con porcentajes de 25% y 50% en relación al cemento, permite aumentar sus propiedades mecánicas.

1.6 Metodología de investigación

La siguiente experimentación es de aplicación cuantitativa, se estudia y comprueba datos realizados en laboratorio para alcanzar los objetivos planteados.

Figura 1. Metodología de investigación



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

1.6.1 Literatura.

Para la investigación se buscó información en bibliotecas física y virtuales, artículos, revistas, publicaciones y libros acerca de material relacionado a los BTC y estudio mineralógico de CBA.

1.6.2 Normas.

Guía para especificaciones, descripción, designaciones y evaluaciones de conformidad. UNE 404010 2008, NTC 5324 2004 y NEC-SE-CG 2011.

1.6.3 Experimental.

Generar variables para organizar los porcentajes de materia y observar el comportamiento mecánico del BTC con CBA mediante pruebas de laboratorio.

1.6.4 Estadístico.

Expresar valores y magnitudes de las probetas que se utilizará para realizar los cálculos del presupuesto que viabilizará el desarrollo de la características económica y arquitectónica.

1.6.5 Revisión Descriptiva.

Describir la experimentación que se realizara en el laboratorio y efectuar una comparación con los BTC que contienen cemento.

Capítulo 2

2. Marco Teórico

2.1 Estado del arte

Para esclarecer ideas se analiza estudios que actualmente hacen el uso de BTC y CBA sometido a experimentaciones físico – mecánicas y estudios de CBA donde se observa sus principales características mineralógicas, los artículos ofrecen información guía que se relacionan con ciertos aspectos en la experimentación. Diferentes investigaciones abordan distintas perspectivas de solución, estas se encuentran en beneficio de materialidad, aspectos económicos, su fabricación consume menos energía y el cambio climático.

Las investigaciones describen procesos de elaboración de BTC con diferentes métodos y diseños, también se observa que varía el análisis de tratamientos para obtener CBA algunos aspectos son los siguientes: temperatura de calcinación de bagazo, dosis óptimas para agregar ceniza, número de tamiz, que tipo de pruebas mecánicas se realizan, pérdida de ceniza por ignición, naturaleza de la sílice, dimensión de BTC, estabilizador principal y pruebas mecánicas.

Varios actores utilizan diferente tamaño número de tamiz y se toma en cuenta las normas internacionales para áridos o se toma en cuenta el tamaño de partícula en micras.

Tabla 1. Procesos de elaboración de BTC con diferentes métodos y diseños.

TITULO	METODO
<p data-bbox="236 987 687 1200">EL USO DE LA CENIZA Y EL BAGASO DE AZÚCAR PARA MEJORAR LA DURABILIDAD Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS BLOQUES DE SUELO COMPACTO</p> <p data-bbox="244 1308 679 1384">(Alavéz, Montes, Martínez, Altamirano, & Gochi, 2012)</p>	<p data-bbox="703 297 1394 383">Proporciones de mezcla y preparación de muestras.</p> <p data-bbox="703 461 1394 546">Primero: Variables de estudio mezcla y tiempo transcurrido</p> <p data-bbox="703 573 1394 658">Segundo: bloques con mezcla variable... 10%cal, 10%cemento, ceniza+cal</p> <p data-bbox="703 685 1394 770">Tercero: De acuerdo a la variable de tiempo se analizaron a 7, 14 y 28 días</p> <p data-bbox="703 797 1394 936">Cuarto: Variables de respuesta resistencia a flexión, la resistencia a la compresión axial, bloques empapados en agua durante 24h.</p> <p data-bbox="703 963 1394 1102">Quinto: Las modificaciones microestructurales con técnicas SEM y DRX. Presenta una estimación de consumo de energía y las emisiones de CO₂.</p> <p data-bbox="703 1128 1394 1160">Sexto: Descripción de porcentajes de aditivos.</p> <p data-bbox="703 1187 1394 1375">Séptimo: El suelo fue muestra de Oaxaca tamizado a través de la malla # 4 antes de la determinación de su curva de distribución del tamaño de partícula y los límites de consistencia.</p> <p data-bbox="703 1402 1394 1541">Octavo: Compara la curva de distribución de tamaños del suelo utilizada con los límites recomendados para suelos con buena graduación y fácil compactación.</p> <p data-bbox="703 1568 1394 1921">Noveno: Considera que la cantidad de partículas finas fue relativamente baja, lo que indica que el suelo es menos sensible al agua y, en consecuencia, es menos probable que sufra una expansión considerable. Sin embargo, la falta de partículas finas puede limitar tanto la reacción puzolánica como la acción de relleno.</p> <p data-bbox="703 1948 1394 1980">Decimo: Los materiales cementezos o puzolánicos</p>

TITULO	METODO
	<p>tienen la capacidad de compensar con partículas finas</p> <p>Onceavo: Limite de líquido del suelo de muestra fue 25.28% y el índice de plasticidad fue de 12%</p> <p>Doceavo: Según los resultados plasticidad y líquido, se clasifica como arcilla arenosa o tipo SC, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.</p> <p>Treceavo: Antes de la preparación de los bloques de suelo compactos, se determinó el contenido óptimo de humedad del suelo utilizando la prueba estándar ASSHTO.</p> <p>Catorceavo: Quema de bagazo de caña 700 a 900 ° C. Se usó agua del grifo del suministro local en la preparación de las mezclas de bloques de suelo. Las composiciones químicas de los aditivos se presentan en la Tabla 3.</p> <p>Quinceavo: Análisis de CBA se hizo en otro estudio, Se determinaron los índices de actividad de fuerza (EFS), que es una indicación de la actividad puzolánica del SCBA utilizando las recomendaciones ASTM C311-04.</p> <p>Dieciseisavo: Tamizar el material a través del tamiz # 200.</p> <p>Diecisieteavo: Se tomó en cuenta que, del estudio anterior se encontró que al agregar el 10% del reemplazo de cemento CBA, las EFS Índice de Actividad de Fuerza obtenidas para todas las mezclas fueron mucho más altas que el 75%.</p> <p>Dieciochoavo: En base a esto, se decidió utilizar solo el 10% de CBA para la estabilización del suelo en el presente estudio.</p>

TITULO	METODO
	<p>Proporciones de mezcla y preparación de muestras.</p> <p>Primero: Consistió en desagregar y tamizar el material a través de una malla de # 4.5 mm</p> <p>Segundo: Los componentes se mezclaron en un mezclador rotativo durante 10 minutos</p> <p>Tercero: Observar que los agregados no se agruparan</p> <p>Cuarto: Luego se añadió la cantidad calculada de agua mezclando todos los ingredientes durante cinco minutos más.</p> <p>Quinto: El material resultante se colocó en el molde de una prensa hidráulica motorizada donde se compactó con una carga de 24 toneladas</p> <p>Sexto: Se fabricaron sesenta bloques de $30 \times 15 \times 12$ cm</p> <p>Séptimo: Todos los bloques se curaron en una sala de curado con una humedad relativa del 90% hasta el momento de la prueba.</p>
	<p>Propiedades mecánicas</p> <p>Primero: Para establecer la resistencia a la compresión, los bloques se probaron tanto en estado seco como en estado saturado (es decir, después de sumergirlos en agua durante 24 h antes de la prueba).</p> <p>Segundo: Las pruebas mecánicas se llevaron a cabo en tres tiempos diferentes, de acuerdo con el diseño experimental.</p> <p>Tercero: Prueba de flexión, se secó el bloque a 110°C durante tres días</p> <p>Cuarto: Maquina de carga múltiple con una carga de 5 toneladas</p> <p>Quinto: Resistencia a la compresión axial</p> <p>Sexto: Análisis microestructurales de muestras seleccionadas para estudiar impurezas o partículas aparentemente sin reaccionar utilizando un microscopio electrónico de barrido</p> <p>Séptimo: Morel et al; Argüello-Méndez y Cuchí-Burgos. que también es un factor importante en el costo y la energía de un edificio, fue adoptado del trabajo realizado por Venkatarama y Jagadish.</p>

TITULO	METODO
<p>MEJORA DE LA RESISTENCIA AL LLEVANDO DEL SUELO DE ARENA SUELTA LADRILLOS DE BLOQUEO DE TIERRA COMPRIMIDOS UTILIZANDO SUGERCANE BAGASSE ASH</p> <p>(Salim, Ndambuki, & Adedokun, 2014)</p>	<p>Primero: Se utilizó suelo franco, al Oeste de Kenia</p> <p>Segundo: Se hizo el tamizado de tamaño de partícula, tamizado húmedo Estándar Británico 1377.</p> <p>Tercero: El contenido óptimo de agua y la densidad seca máxima del suelo también se obtuvieron mediante la prueba de compactación</p> <p>Cuarto: La CBA se obtuvieron de fábrica de azúcar.</p> <p>Quinto: Tamizar el suelo a través del tamiz de 2.0 mm</p> <p>Sexto: Se midieron seis Kg de peso de suelo y porcentajes de cenizas de bagazo en peso (ver Tabla 2) y se mezclaron homogéneamente a mano.</p> <p>Séptimo: Se agregó agua</p> <p>Octavo: La mezcla vertieron en un molde de acero con una dimensión de 285 mm × 145 mm × 95 mm</p> <p>Noveno: Prensa manual con las siguientes características; Brazo de palanca: 1800 mm, dimensión interna del molde: 300 mm × 150 mm × 100 m</p> <p>Décimo: Se secó por una semana en colocando fibra de BCA y luego al aire libre hasta la prueba de compresión.</p> <p>Onceavo: La prueba de resistencia a la compresión en seco del ladrillo se realizó de acuerdo con la Oficina de Normas de Kenia KS02-1070</p> <p>Doceavo: La resistencia a la compresión del bloque para cada día de prueba se obtuvo tomando un promedio de la resistencia a la compresión de 3 muestras de bloque</p> <p>Treceavo: El patrón de fallas resistencia a la compresión se midió usando el medidor de grietas</p> <p>Catorceavo: KS02-1070 [21] establece que las grietas no deben tener más de 0.5 mm de ancho y no deben exceder el 50% de la longitud de los bloques</p>
<p>ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA UTILIZANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR</p> <p>(Lima, Varum, Sales, & Neto, 2012)</p>	<p>Primer paso: Propiedades de materiales, se utilizó tierra arenosa de la región de estudio Portugal</p> <p>Segundo: Paso a un proceso de separación de cualquier residuo orgánico y a la uniformidad de partícula a través de tamizado 4 (# 4.8 mm), recomendaciones estándar de NBR 10832</p> <p>Tercero: Como la tierra tenía una fracción de arena gruesa muy alta (superior al 70%), el tamaño de partícula se corrigió con una arcilla, caolín, que se eligió debido a su disponibilidad regional.</p>

TITULO	METODO
	<p>Cuarto: Después de algunos análisis con respecto al moldeo y compactación del BTC, se eligió la proporción de una parte de caolín para siete partes de la tierra</p> <p>Quinto: Después de algunos análisis con respecto al moldeo y compactación del CEB, eligió la proporción de una parte de caolín para siete partes de la tierra (1: 7).</p> <p>Sexto: se analizó el caolín DRX</p> <p>Séptimo: El límite de plástico y la prueba de tierra líquida no se realizaron ya que en la tierra utilizada en este estudio la fracción de arcilla fue inferior al 30%.</p> <p>Octavo: El aglutinante utilizado como estabilizador de tierra fue piedra caliza Portland Cement.</p> <p>Noveno: Se utilizó el bagazo de ceniza de caña de azúcar (SBA) además de la masa total de tierra + cemento.</p> <p>Décimo: La ceniza se tamizó (# 4,8 mm) y se trituró durante 3 minutos en un molino mecánico (mortero / mortero)</p> <p>Onceavo: La CBA se analizó, masa específica de 2650 kg / m³; densidad de masa unitaria de 1390 kg / m³; dimensión máxima de 0,60 mm y módulo de finura de 1,23</p> <hr/> <p>Primero: Producción y caracterización de los BTC, para el análisis de los bloques, se produjeron dos series, con 6% y 12% de cemento, además de la tierra, con niveles de adición de CBA de 0%, 2%, 4% y 8%.</p> <p>Segundo: La cantidad de agua se ajustó para cada serie y aumentó a medida que se aumentó la cantidad de CBA en la mezcla.</p> <p>Tercero: Para mezcla y producción de BTC de concreto portátil con una capacidad de 80 litros</p> <p>Cuarto: Hay que tomar en cuenta, si la mezcla gira más de lo necesario para homogeneizar el material compuesto, produce "grumos" o pequeños nódulos que generalmente están formados por un solo material. Cuanto mayor sea la aparición de grumos en una mezcla, menos homogénea será</p> <p>Quinto: El moldeo de los bloques se realizó en una prensa manual Appro-Techno TERSTA-RAM</p> <p>Sexto: Las pruebas de resistencia a la compresión y absorción</p> <p>Séptimo: Normas brasileñas NBR 8491 y NBR 8492</p>
USO DE CENIZA DE BAGASSE DE CAÑA DE AZÚCAR COMO	<p>Primero: CBA de West Kenya Sugar Company</p> <p>Segundo: CBA se tamizó a través de un tamiz de 75 µmm para</p>

TITULO	METODO
<p>REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO EN LA ESTABILIZACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA AUTO-ENCLAVADOS</p> <p>Onchiri R. et al (2014)</p>	<p>obtener finura de la ceniza.</p> <p>Tercera: Luego, la ceniza se colocó en bolsas de polietileno para mantenerla hermética y mantener su humedad.</p> <p>Cuarta: Se prefirió el cemento Portland ordinario (OPC) en este proyecto de investigación debido a su naturaleza no puzolánica.</p> <p>Quinta: Se utilizó agua conforme a los requisitos de agua para hormigonado y curado según IS: 456-20009 en todo este proyecto de investigación.</p> <p>Sexta: en este estudio se utilizó una muestra libre de suelo superior.</p> <p>Séptima: Prueba de caja de contracción lineal, esta prueba indica la contracción de una muestra de suelo a medida que se seca</p> <p>Octavo: Análisis mecánico del suelo, la distribución del tamaño de partícula.</p> <p>Noveno: Prueba de control de compactación. Se realizó para determinar el contenido óptimo de agua.</p> <p>Décimo: Límites de Atterberg. Estos límites ayudan a obtener el índice de plasticidad del suelo y, por lo tanto, el contenido de arcilla.</p> <p>Onceavo: Prueba de resistencia a la compresión (ASTM C109): las propiedades de compresión describen el comportamiento de un material cuando está sujeto a una carga de compresión.</p> <p>Doceavo: Los bloques preparados fueron curados y probados a la edad de 7 y 28 días</p> <p>Treceavo: Se probaron tres bloques para cada proporción de mezcla (0.0%, 1.6%, 3.2%, 4.8%, 6.4% y 8.0%).</p> <p>Catorceavo: Para determinar la resistencia a la compresión, por lo tanto, se prepararon 54 ladrillos para la prueba de resistencia.</p>

Nota: Adaptado de varios autores por (Alavéz, Montes, Martínez, Altamirano, & Gochi, 2012; Salim, Ndambuki, & Adedokun, 2014; Lima, Varum, Sales, & Neto, 2012)

Figura 2. Tratamiento de ceniza por tamizado

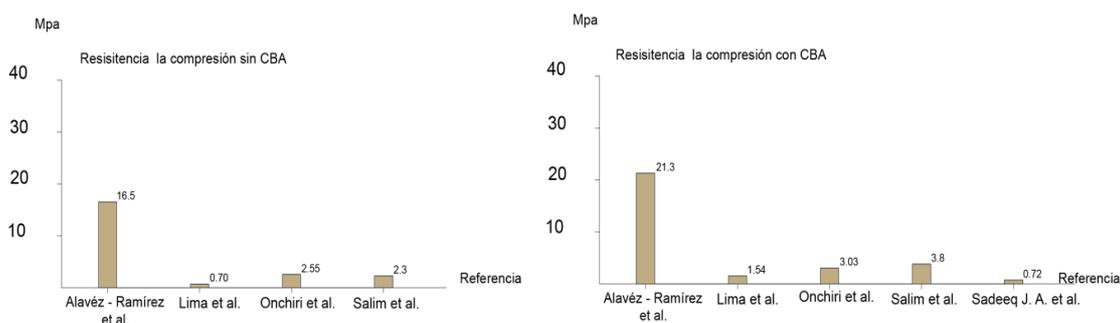
Nota: Adaptado de la Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Las pruebas de laboratorio principalmente la resistencia a la compresión es realizada en casi todas las investigaciones, el resto de pruebas varían en mayoría de los autores que estudian los comportamientos mecánicos de la ceniza en materiales arcillosos enfocado a la construcción.

Tabla 2. Pruebas mecánicas

Autores	Compresión	Flexión	Absorción de agua	Contracción lineal
Alavéz Ramírez et al.	•	•		
Lima et al.	•		•	
Onchiri et al.	•			
Salim et al.	•			
Sadeeq J. A. et al.	•		•	•

Nota: Adaptado del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

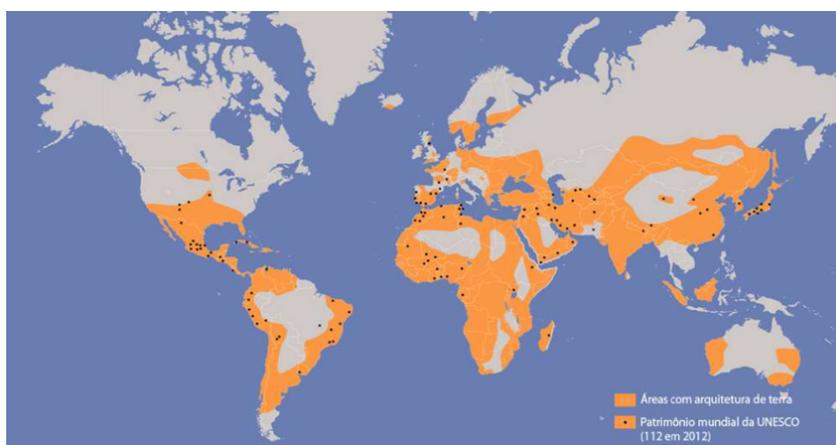
Figura 3. Resistencia a compresión con CBA y sin CBA

Nota: Adaptado del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

2.2 Marco Teórico

El Bloque de Tierra Comprimida es un material noble de construcción que son mezclados generalmente, tierra, cemento o cal y agua, como estabilizante. generalmente con forma de paralelepípedo rectangular, obtenido por compresión estática o dinámica de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares de los productos. En Sudamérica Colombia, Brasil son países pionero trabajando con BTC desde mediados del siglo XX.

Figura 4. Distribución geográfica de arquitectura con tierra



Nota: Adaptado Mapa Global de arquitectura con tierra por *Auroville Earth Institute*

El análisis del estado del arte se realiza sobre experimentación con BTC usando como material estabilizante que incluyen CBA considerando valores de agregado en diferentes diseños de mezcla.

Varios estudios mencionan medidas de muros entre 15 a 45 cm de espesor sus magnitudes, son manipulables 9 cm alto (grosso), 14 cm de tizón (ancho) y 29 cm soga (largo).

Tabla 3. Características BTC

Características de los BTC estabilizados			
Resistencia a flexión a los 28 días	N/mm ²	1 a 2	0.5 a 1
Resistencia a tracción a los 28 días	N/mm ²	1 a 2	0.5 a 1
Resistencia a cortante a los 28 días	N/mm ²	1 a 2	0.5 a 1
Módulo de Young	N/mm ²	700 a 1000	

Densidad aparente	Kg/m ³	1900 a 2200	1700 a 2000
Retracción por secado	mm/°C	0.2 a 1	0.2 a 1
Permeabilidad	mm/sec	5 a 10	
Absorción de agua total	% del peso	10 a 12	10 a 20
Aislamiento acústico muros de 40 cm	dB	50	40

Nota: Adaptado de (Auroville Earth Institute) 1 N/mm² = 1 Mpa

2.2.1 La tierra como material de construcción

La tierra es uno de los materiales naturales más abundantes del planeta que no necesita grandes procesos complejos para su elaboración, hasta la actualidad sigue siendo un método utilizado en la construcción en países en desarrollo, cuando se habla de ladrillos hechos a mano sin hornear, generalmente se utilizan los términos "adobes"; cuando se habla de ladrillos comprimidos sin hornear, se utiliza el término "bloques de tierra comprimida".

Parece particularmente tener algunas ventajas que brinda la tecnología constructiva con tierra, tiene beneficio en el plano ecológico, técnico, económico y humano por su historia. (Las Naciones Unidas, 2005), afirma que cerca de 1/3 de la población mundial posee una vivienda con estructura de tierra.

Las viviendas con estructura de tierra utilizan diferentes tipos:

Adobe, es un bloque de tierra secado al sol que contiene fibras naturales para su estabilización, con un peso cerca a los 13 Kg de dimensiones (40 X 40 X 20) cm.

Bahareque, un sistema de construcción que utiliza como material la tierra (barro) y el carrizo entretrejido.

Tapial, un sistema de construcción con tierra húmeda realizando una técnica de compactar por medio de un encofrado de madera.

Bloque de tierra comprimida (BTC), un elemento de construcción con arcilla, cemento y agua. Medidas recomendadas (9.5 X 14 X 29,5) cm.

El desarrollo de los materiales responde a necesidades y disponibilidades de un lugar a medida del paso del tiempo, los materiales de construcción con estructura de tierra son el reflejo de cambios lentos que el hombre ha progresado, las técnicas de construcción de la

tierra se conocen desde hace más de 9000 años. Se han descubierto casas de ladrillo de adobe que datan de 8000 a 6000 a. C. Pumpelly (como se cita en Gernot Minke, 2006).

Se han encontrado adobes en tierra moldeados a mano en la ciudad de Jericó cuyos orígenes se remontan al octavo milenio antes de nuestra era, así como moldes de geometría regular en madera para la elaboración de adobes que aparecieron casi simultáneamente en Sumeria y Perú, hace alrededor de 5 000 años, los cuales permitieron una mayor producción de adobes y trabajos relacionados con la tierra de mejor calidad (Vásquez et al., 2015).

2.2.2 Área geográfica de estudio

Catamayo es el cantón más poblado de la provincia de Loja, un valle ubicado a 1028 m.s.n.m en el que sus tres ríos, Boquerón, Guayabal y Trapichillo que mantienen húmedas las tierras agrícolas, su temperatura no pasa de 31°C y no desciende de 17°C. Estas características naturales hacen de Catamayo un cantón más productor de caña de azúcar de la provincia de Loja y sus suelos cuentan con características adecuadas que han sido objetivo de varias fábricas artesanales e industriales de procesamiento de la caña de azúcar y en la producción de ladrillo cerámico.

Figura 5. De izquierda a derecha, la caña de azúcar y adyacente las fábricas de ladrillo.



Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

2.2.3 Producción artesanal de material para construcción en Catamayo

La ciudad es rica en suelos con alto contenido de arcillas reflejado en la producción de ladrillo cocido, las productoras en la provincia de Loja aportan con el 8.4% de establecimientos de ladrilleras y Catamayo aporta 4.68% (INEC, 2010). Estas cifras son

contundentes para la elaboración de materiales alternativos que garantice el confort de una vivienda de bajos costos.

Figura 6. Lugar de recolección de muestras de materiales.



■ Fábricas de ladrillo ■ Caña de azúcar

Nota: Adaptado de mapa aéreo por *Google Maps*

2.2.4 Bloques de tierra comprimida BTC

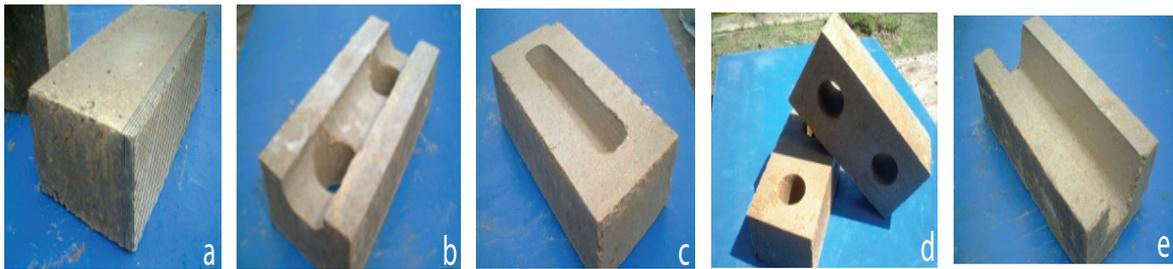
El BTC fue desarrollado en la década de 1950 en Colombia, como un producto de investigación del Centro Interamericano de Vivienda (CINVA) para producir materiales de construcción de bajo costo.

Generalmente con forma de paralelepípedo rectangular obtenido por compresión estática o dinámica de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para desarrollar características resistentes. El BTC nace como iniciativa de una versión de material con mejores cualidades, actualmente los procesos tecnológicos en la elaboración y compresión han estandarizado una prensa únicamente para bloques de tierra comprimida Cinva – Ram, agilizar considerablemente el proceso de

elaboración mejorando las propiedades resistivas del material; varios estudios recomiendan valores para obtener BTC.

Se elabora a partir de la mezcla de tierra (82,75%), arena (6,20%) y cemento (11,03%), para luego ser compactada (Arteaga, 2011). La dosificación se realizan tres tipos de diferentes 1:7, 1:10 y 1:13 de acuerdo con los porcentajes de cemento según (Etchebarne & Silva, 2006). La principal función de los aglomerantes como cemento, cal, arena, funcionan como componentes estabilizantes aumentando su resistencia y solides de las caras del bloque. Posteriormente el bloque es sacado del molde y trasladado para el curado, en el que puede durar de 7, 14 y 28 días, dependiendo del contenido de humedad que presente el bloque luego de la compactación.

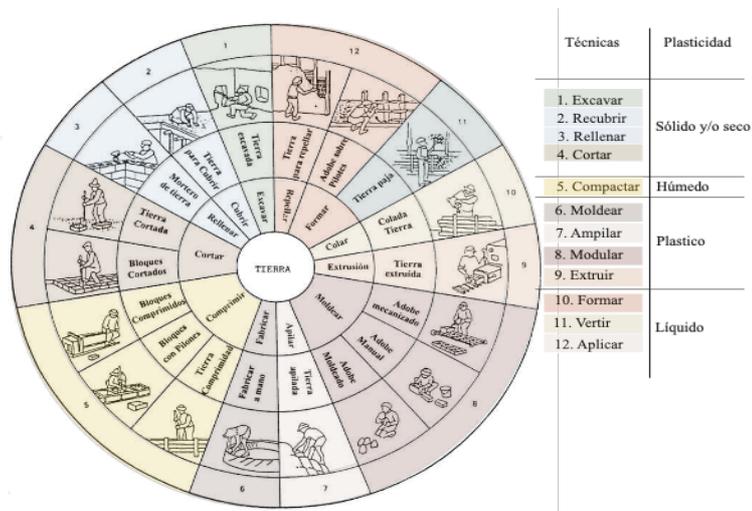
Figura 7. El uso de los BTC han sido introducidos en la construcción por su variedad de uso que se le puede dar



Nota: a) BTC macizo. b) con perforaciones verticales y celda horizontal. c) Aligerado para muros divisorios. d) con perforaciones verticales para muros con instalaciones. e) tipo canaleta en forma de “U”

2.2.5 La construcción con bloque de tierra comprimida

Figura 8. Culturas constructivas



Nota: Adaptado del Tratado de construcción con tierra por Houben, et. al. (1987),

En la construcción con bloque de tierra comprimida se da mediante un proceso de producción y fabricación con materiales nobles, es una forma de construcción que no demanda alto consumo energético con componentes de bajo costo.

Ecuador no cuenta con una normativa para BTC, Colombia y Perú ya consideran estos elementos constructivos dentro de normas que garantizan los ensayos previos a su uso. La arquitectura y los materiales están estrechamente relacionados, la tierra expresa estilos arquitectónicos de viviendas tradicionales y los procesos del mejoramiento de materiales avanzado que su uso está tomando fuerza en ciudades en vías de desarrollo, las paredes tienden a ser estructurales y simétricas. Estudios actuales experimentan en mostrar la estabilidad de BTC en competencia con la del ladrillo y la velocidad de elaboración.

La construcción de estos elementos necesita un proceso de mano de obra:

Extracción del material: El material es trasladado desde canteras privadas de cada fabrica

Escoger la mejor tierra: Se procede a descartar todo tipo de piedras, fibras, etc. Para obtener un material homogéneo

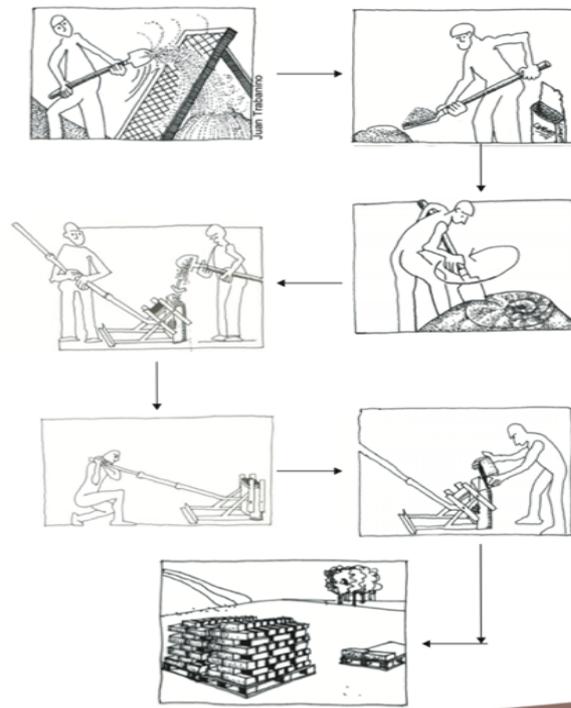
Tamizar: Esta acción hace que la tierra contenga partículas más pequeñas, se elimina los terrones y se despeguen unas de otras.

Mezclar: Se agrega la materia prima en sus respectivos valores de agregados con agua.

Comprimir: Se utiliza un prensa manual, mecánica o hidráulica, para BTC se recomienda la prensa CINVA-RAM.

Proceso de secado: Estudios recomiendan 28 días para un mejor desprendimiento de humedad.

Figura 9. Proceso de fabricación de BTC



Nota: Adaptado de proceso de fabricación por Neves (2011).

En algunas comunidades donde la tierra es el único material de construcción accesible, podemos encontrar referencias aplicadas generalmente en países en desarrollo, estas construcciones generan algunas limitaciones en sus plantas arquitectónicas, simétricas, control de humedad, su altura limita la colocación de una posible segunda planta, tener en cuenta el aspecto sísmico por sus paredes que tienden al vuelco u alabeo y su momento cortante.

Un ejemplo de construcción es la escuela primaria ubicada en Gando, Burkina Faso, África. Ampliación y desarrollado por Kéré Architecture, menciona que las técnicas tradicionales de construcción en arcilla fueron modificadas y modernizadas con el fin de crear una construcción más robusta estructuralmente en forma de ladrillos. Los ladrillos de arcilla tienen la ventaja añadida de ser baratos, fáciles de producir, y que también proporcionan protección térmica contra el clima caliente.

Figura 10. Escuela en Burkina Faso

Nota: Adaptado de xxxxxx por Kéré Architecture

Figura 11. Escuela en Burkina Faso

Nota: Adaptado de xxxxxx por Kéré Architecture

Otra referencia de construcción es el Centro de Arquitectura de la Tierra en ubicada en Congo, África y desarrollada por Kéré Architecture. Todos los muros y las bóvedas se construyen de BTC (bloques de tierra comprimida) que son muy adecuados para las condiciones climáticas, debido a su búfer de temperatura natural y, por tanto, garantizan temperaturas interiores cómodas. Los aleros del techo aíslan las paredes y proporcionan espacios cualitativos al aire libre. Aberturas de ventilación en las paredes y en las bóvedas

proporcionan un flujo natural de aire para que el edificio acondicionado funcione sin respaldo mecánico.

Figura 12. Centro de Arquitectura de la Tierra.



Nota: Adaptado de xxxxxx por Kéré Architecture

Figura 13. Centro de Arquitectura de la Tierra.



Nota: Adaptado de xxxxxx por Kéré Architecture

Una referencia local que involucre el BTC como material constructivo, es en la parroquia Chuquiribamba de la ciudad de Loja se utilizó dos variables: cemento y agua. Los mejores resultados se obtuvieron con las mezclas con 13% y 9,75% de cemento, y 25% y 22% de agua, respectivamente, una resistencia a la compresión de 7,78 MPa y 4,66 MPa, y un coeficiente de ablandamiento superior a 0,5 que garantizan la resistencia a la humedad.

Figura 14. Bloque de tierra comprimida en Chuquiribamba.



Nota: Adaptado de Bloque de suelo estabilizado en pequeño formato y tecnología de colocación en obra en vivienda de interés social por (Bailón, Espinosa, & Acevedo, 2019)

2.2.6 Caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es originaria de Nueva Guinea y sureste asiático, existen varias afirmaciones de cuando se inició el cultivo de caña y la falta de pruebas a dificultado la fecha en que se relacionó con el hombre, la literatura asiática menciona que 4500 A.C. ya que las familias consideraban como adorno de jardín antes de conocer su propiedad endulzante.

El bagazo es desecho que resulta del proceso de fabricación de las azucareras. (Escandón et al. 2012), La industria azucarera genera anualmente enormes cantidades de residuos. Entre

estos se encuentra la denominada ceniza de bagazo de caña (CBC) que resulta de la combustión de este subproducto y cuya dispersión en el ambiente contamina el aire y afecta la salud humana.

El bagazo de caña de azúcar no es consumible por los humanos en algunos casos es alimento de animales, (Beames, et al. 1961) se ha utilizado el bagazo en las raciones para rumiantes. Con la finalidad de reducir la huella de carbono y la deforestación, las industrias utilizan como materia prima alternativa para la fabricación de papel el bagazo de la caña de azúcar (Omari, 2013).

El uso del bagazo de caña de azúcar es combustible de biomasa económico para los hornos de panela de dulce, la ceniza sobrante no es totalmente de bagazo de caña de azúcar.

La composición de ceniza de bagazo de caña de azúcar y cemento portland se caracterizan por tener similitudes en minerales y otros componentes que juntos son considerados puzolánicos es decir, su capacidad para reaccionar con el hidróxido de calcio para formar compuestos hidráulicos similares a los que se generan durante la hidratación del cemento.

Tabla 4. Compuestos de elementos encontrados en la ceniza de bagazo de caña de azúcar

Composición química de CBA		
Elemento	Cemento	CBA
Óxido de silicio (SiO ₂)	24.30%	58.6-63.2%
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	4.30%	5.8-11.8%
Óxido de hierro (III) (Fe ₂ O ₃)	3.00%	4.5-6.4%
Óxido de calcio (CaO)	58.80%	3.0-3.9%
Óxido magnésico (MgO)	1.40%	2.2-4.3%
Óxido de potasio K ₂ O	0.70%	2.0-7.3%
Óxido de sodio (Na ₂ O)	0.80%	1.1-1.3%
Pérdidas por ignición	4.00%	2.0-11.0%
Tamaño de partícula (µm)	16	38.7-79.8

Nota: Adaptado de Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: Estudio preliminar por (Vidal, Torres, & González, 2014)

2.2.7 Estado de recolección de recursos

De acuerdo a la información del sector, la fabricación de ladrillo queda adyacente a los terrenos de agrícolas de la caña de azúcar, se puede observar desde la vía principal las fábricas artesanales de ladrillo y sus hornos.

Figura 15. Contaminación ambiental por hornos de ladrillo



Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 16. Tierra de muestra para elaboración de probetas.



Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 17. Terreno agrícola destinado para caña azúcar (izquierda) y fabrica artesanal de ladrillo de arcilla (derecha).



Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 18. Bagazo de caña de azúcar industrial.



Figura 19. Bagazo de caña de azúcar artesanal



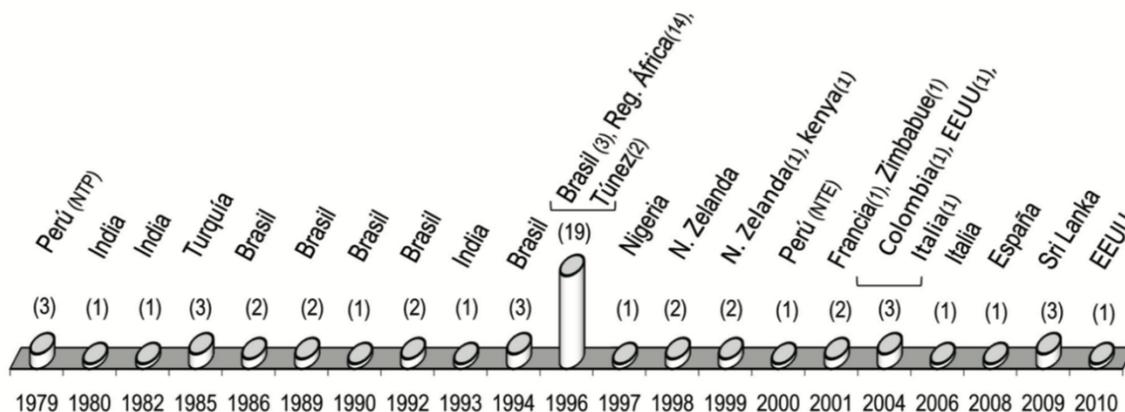
Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

2.3 Marco normativo

Actualmente en la industria de la construcción el BTC existe en varios formatos para muros y tabique: Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo son normalizados en algunos países donde ya se construye regularmente, como las siguientes guías:

2.3.1 Normativa internacional para BTC

Figura 20. Número de normas vigentes



Nota: Adaptado del Informe de la construcción, por J. Cid, F. R. Mazarrón, I. Cañas (2011)

Tabla 5. Datos generales de las normas a considerar

Norma	País	Año	Probeta de ensayo	Resistencia solicitada (Mpa)		Encabezado
				Seco	Saturado	
UNE 41410	España	2008	BTC entero o medio BTC, en posición horizontal	1.3 3.0 5.0	-	Remover imperfecciones "raspando" las superficies. Opcionalmente, se puede encabezar con pasta de cemento de 3 mm de espesor.
NTC 5324	Colombia	2004	BTC partido en 2, asentado con junta de mortero de cemento de 1 cm de espesor, o el que se empleará en obra (composición y material).	2.0 4.0 6.0	1.0 2.0 3.0	Con pasta de cemento de 3 mm de espesor; o empleando hojas de cartón o madera contrachapada tricapa de 3 mm. Se recomienda no emplear Neopreno.

NTE.080	Perú	2000	El valor del esfuerzo resistente en compresión se obtendrá en base al área de la sección transversal, debiéndose ensayar un mínimo de 6 cubos, definiéndose la resistencia última (fo) como el valor que sobrepase en el 80% de las piezas ensayadas.	6	-	Las juntas horizontales y verticales no deberían exceder de 2 cm y deberán ser llenadas completamente.
---------	------	------	---	---	---	--

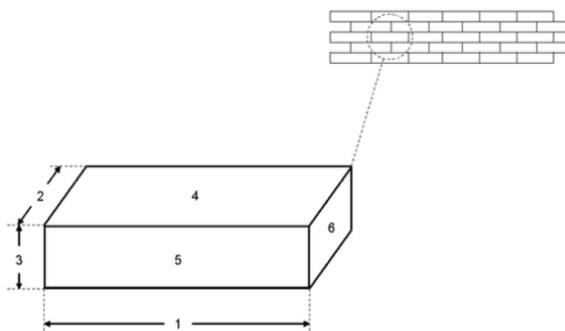
Nota: Adaptado por normativas vigentes por *Informe de la construcción (2011)*

2.3.2 UNE 41410 2008.

En la siguiente investigación se utiliza los aspectos generales de BTC para el diseño de mezcla. Esta norma tiene por objeto definir los bloques de tierra comprimida utilizados en fábricas de albañilería, por ejemplo, fachadas vistas y revestidas, estructuras de carga y no portantes, muros y particiones interiores. Fija las prestaciones que deben cumplir los bloques y los ensayos propios para determinar. Evalúan la resistencia de los BTC sobre bloques enteros, secos y ensayados en posición horizontal, se recomiendan encabezar las probetas sólo si resultase estrictamente necesario y no alcanzase con desgastar las irregularidades.

Dimensiones: La designación de los bloques de tierra comprimida comprende, por orden, las indicaciones siguientes:

Figura 21. Dimensiones



Leyenda

1 Largo (soga)
4 Tabla

2 Anchura (tizón)
5 Canto

3 Altura (grueso)
6 Testa

Nota: Adaptado de nomenclatura empleada habitualmente para designar la situación de las piezas en el muro por *UNE40401*

Estabilizantes y aditivos: El fabricante debe declarar el/los aditivos o estabilizante/s usado/s. En el caso de utilizar cemento, cal o yeso, el contenido total de éstos debe ser menor o igual al 15% de la masa en seco del BTC.

Ejemplos de estabilizantes químicos:

- Cal viva o apagada.
- Productos puzolánicos.
- Cementos.
- Silicatos de sosa
- Aceites naturales: Coco, savia de caucho, savias naturales, látex, etc.
- Resinas acrílicas.

Tierra: La tierra destinada a la construcción de los BTC está compuesta esencialmente por grava, arena, limo y arcilla, mezclado con agua y, opcionalmente, con estabilizantes y aditivos.

Deben rechazarse las tierras que contengan, materia orgánica en cantidad mayor o igual del 2%. La determinación del contenido en materia orgánica de los suelos que se empleen en la fabricación de los BTC se hará de acuerdo con la Norma UNE 103204:1993.

Las principales características de la tierra se definen por:

La granulometría.

La plasticidad.

El tipo de arcilla.

Agua: En general, pueden emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica. En caso de no existir antecedentes de su uso y siempre que existan dudas, se recomienda analizarla según lo especificado en el anexo B en la norma UNE 41410 2008.

Resistencia a compresión: Se debe declarar la resistencia normalizada a compresión del BTC en N/mm, El valor declarado debe corresponder a la resistencia normalizada a compresión (fractil del 5%), f_c , en el momento del suministro, y debe ser como mínimo el valor indicado en la tabla.

Tabla 6. Resistencia normalizada UNE 40401

Bloques	BTC 1	BTC 3	BTC 5
Resistencia normalizada, f_c , (fractil 5%), en N/mm ²	1,3	3	5

Nota: Adaptado bloques de resistencia normalizada por *UNE40401*

Conclusión: La Norma Ecuatoriana de la Construcción no regula los bloques de tierra compactada o estabilizada. Las unidades de arcilla cocida indica que las unidades que se empleen en la construcción de muros de mampostería deben tener al menos las resistencias mínimas que se proporciona, que son (NEC-SE-CG 2011):

Ladrillo macizo 2Mpa

Ladrillo de perforación horizontal de arcilla 3Mpa

Bloque de perforación vertical de hormigón o de arcilla 3Mpa

Capítulo 3

3. Metodología

3.1 Proceso para elaboración de BTC utilizando CBA en remplazo parcial de cemento estabilizante

Tabla 7. Variable dependiente e independiente

Variabes	Dependiente	Independiente	Constante	No constante
CBA		X		X
Tierra		X	X	
Cemento		X	X	
Agua		X		X
Compresión	X		X	
Flexión	X		X	

Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por *Torres (2021)*

Tabla 8. Variable independiente

Variable	Unidad	Observación
CBA	Kg	≥ 25 % de agregado y tamizado # 18 y no accede el 50% de proporción
Tierra	Kg	Tamizado # 18 y no accede el 80% de proporción, es un valor constante de agregado
Cemento	Kg	≤ 15 % de agregado
Agua	Kg	≥ 1.2 Kg

Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por *Torres (2021)*

Para determinar el objetivo planteado, se tomó tierra de una fábrica de ladrillo artesanal del cantón Catamayo, se experimenta el comportamiento de la tierra que se usara en BTC (análisis granulométrico, plasticidad y tipo de arcilla). Así mismo, se realiza estudios mineralógicos a la CBA (composición química por fluorescencia de rayos X (FRX) empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil S1 Turbo marca Bruker.), la ceniza se obtiene en un proceso de combustión a altas temperaturas.

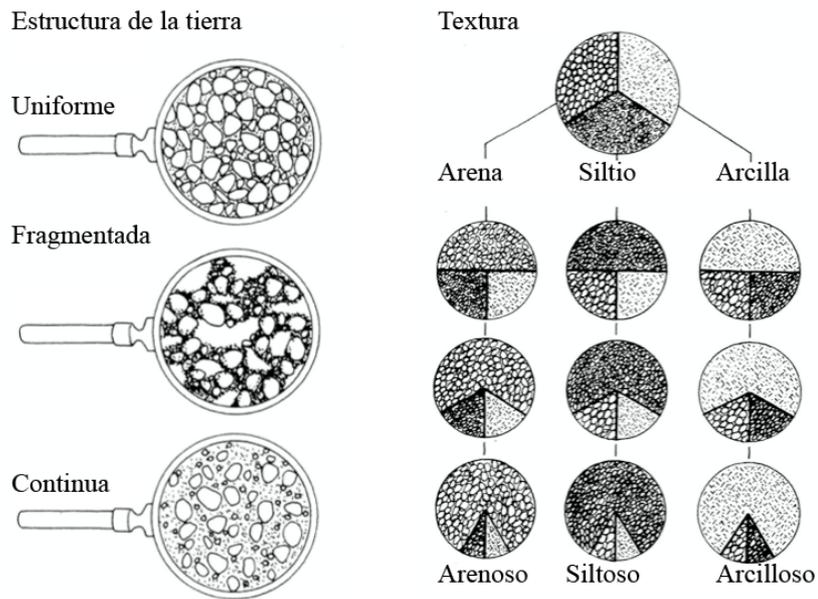
1. Con el fin de obtener características adecuadas para su elaboración se realiza estudios a la tierra, límites de Atterberg.
2. Se realiza análisis mineralógicos para caracterizar los componentes que contiene la CBA.
3. Seguido, se desarrolla un diseño de mezcla en con porcentajes de agregado CBA 0% 25%, y 50%.
4. Posteriormente, se vierte en molde en porciones de agregado para compactar con una presión de 2000 psi, una vez que el bloque alcanzo su edad de fraguado en un ambiente cerrado de 7 días, 14 días y 28 días para proceder a los ensayos establecidos: Ensayo de resistencia a la compresión y flexión.
5. Finalmente, se compila y analiza los resultados obtenidos del laboratorio.

3.2 Descripción de materiales utilizados para BTC

3.2.1 Tierra

La tierra está compuesta generalmente en gran parte por el mineral arcilla, grava, limo y arena, a veces contiene agregados más grandes como grava y piedras. Las normas definen sus partículas de acuerdo con el diámetro: partículas con diámetros más pequeños que 0.002 mm se denominan arcilla, aquellos entre 0.002 y 0.06 mm se llaman limo, y aquellos entre 0.06 y 2 mm se llaman arena, se mantiene pegajoso cuando se encuentra húmeda y muy dura ante la carencia de agua que generalmente son de color que va desde negro, rojo, amarillo y gris.

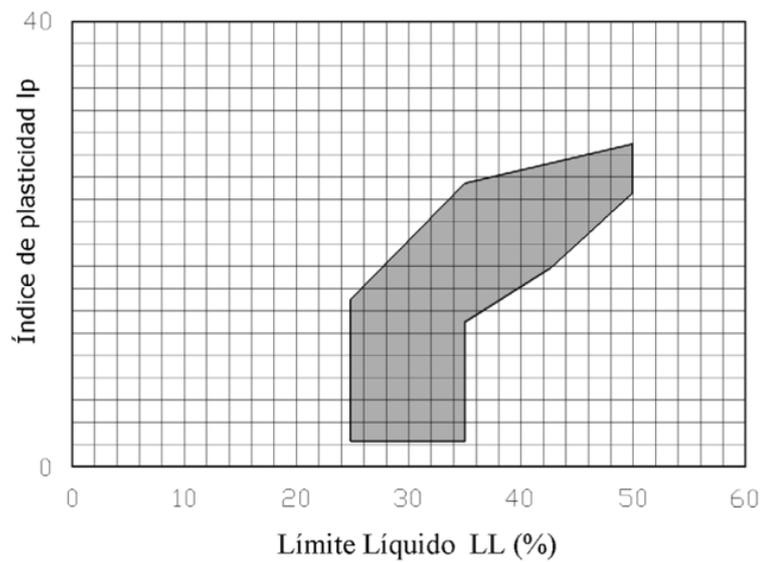
Figura 22. Estructura y textura de la tierra



Nota: Adaptado de Tratado de construcción con tierra por Houben H, et al, (1987)

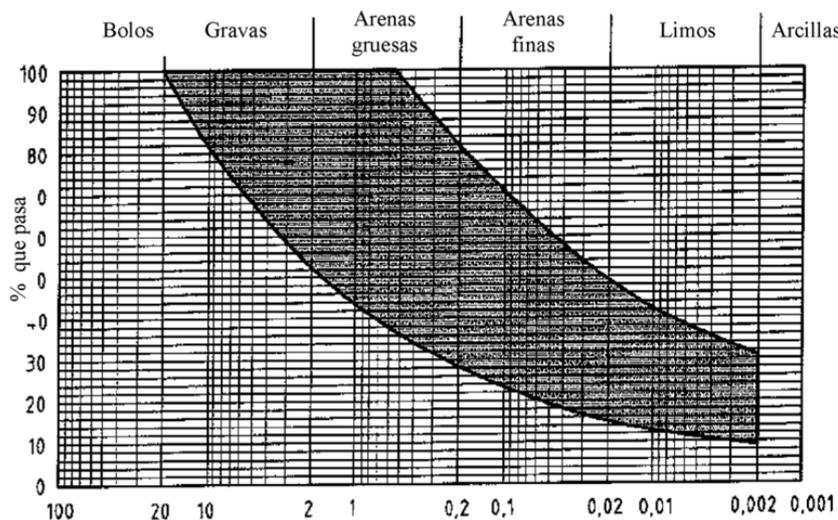
3.2.2 Clasificación del suelo de muestra

Figura 23. Zona recomendada del diagrama de plasticidad de tierra



Nota: Adaptado de Tratado de construcción con tierra por Houben H, et al, (1987)

Figura 24. Diagrama de texturas de la tierra



Nota: Adaptado de Tratado de construcción con tierra por Houben H, et al, (1987)

Tabla 9. Clasificación de suelo, Límites de Atterberg

	Golpes	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	W%	RESULTADO %
Contenido de humedad		203.78	196.51	25.32	4.25	4.21
		182.37	176.08	25.06	4.17	
Límite líquido	34	35	33.2	24.8	21.43	23.19
	27	36.4	34.49	26.1	22.77	
	22	42.1	39.35	27.85	23.91	
	16	39.1	36.4	25.9	25.71	
Límite plástico		33.03	32.2	27.77	18.74	18.7
		32.74	31.9	27.4	18.67	

Nota: Adaptado de Límites de Atterbeg por Etsuel.com (2015)

Estos límites ayudan a obtener el índice de plasticidad del suelo y, por lo tanto, el contenido de arcilla. También permite concluir si el suelo es apto para la estabilización de acuerdo a las normas establecidas.

Tabla 10. Granulometría

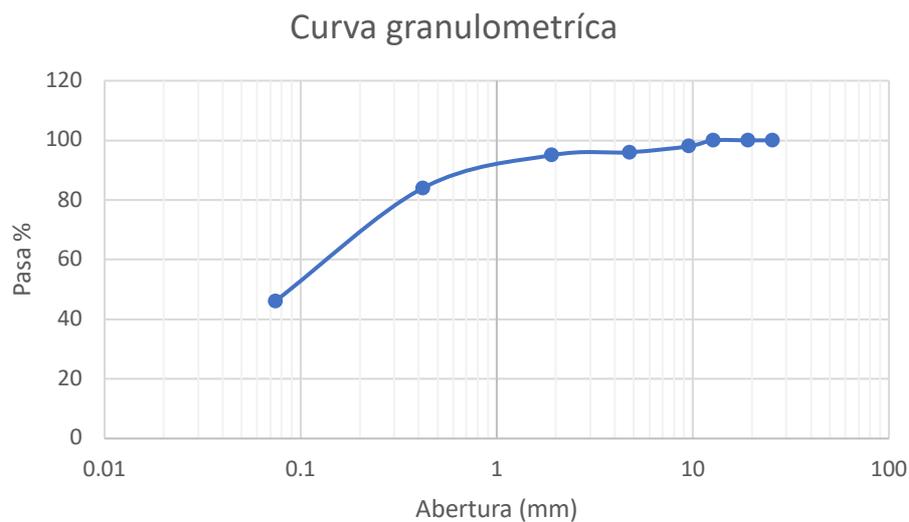
Peso inicial de calculo: 353.62 gr				
Tamiz	Abertura (mm)	PESO R (gr)	% R.A.	% PASA
1"	25.4	0	0	100
3/4"	19.1	0	0	100
1/2"	12.7	0	0	100
3/8"	9.52	5.7	1.68	98

No. 4	4.75	6.9	3.71	96
No. 10	1.9	6	5.48	95
No. 40	0.42	35.4	15.91	84
No. 200	0.074	130.3	54.31	46

Color: Café

Nota: Adaptado de Limites de Atterbeg por *Etsuel.com (2015)*

Figura 25. Curva granulométrica



Nota: Adaptado de Limites de Atterbeg por *Etsuel.com (2015)*

Tabla 11. Clasificación

Grava	3.71%
Arena	50.60%
Finos	45.69%
LL	23%
LP	19%
IP	4%
CU	63.02%
CC	70%
Clasificación:	
SUCS= SC-SM	
Arena limosa y arcillosa	
AASHTO= A-4 IG0	
Suelos limosos	
Regular a pobre	

Nota: Adaptado de Limites de Atterbeg por *Etsuel.com (2015)*

Los suelos limosos retienen el agua por más tiempo, su color es marrón oscuro, los limos se componen de una mezcla de arena fina y arcilla que forma una especie de barro junto al lodo y restos vegetales. Este tipo de suelos se suele dar en el lecho de los ríos.

Para el suelo A - 4, de acuerdo con la clasificación A. A. S. H. O (Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte) los suelos limosos son de arena, sedimentos y finos de baja compresión. Para estabilizar este tipo de suelo se recomienda un porcentaje en el rango de 8% a 12% del peso del suelo, para la presente investigación se decidió adoptar el 15% de cemento.

Tabla 12. Rango más adecuado de cemento para estabilización con respecto a la clasificación del suelo

Clasificación del suelo por el sistema A.A.S.H.O.		Peso de cemento para estabilización (%)
Suelo granular	A1	A-1-a 5 a 7
		A-1-b 7 a 9
	A2	A-2-4
		A-2-5 7 a 10
		A-2-6
		A-2-7
	A3	8 a 12
Suelo fino	A4	8 a 12
	A5	8 a 12
	A6	10 a 14
	A7	A-7-5 10 a 14
		A-7-6

Nota: Adaptado de A.A.S.H.O. Los ensayos de clasificación determinan una tierra A-4 por Torres (2021)

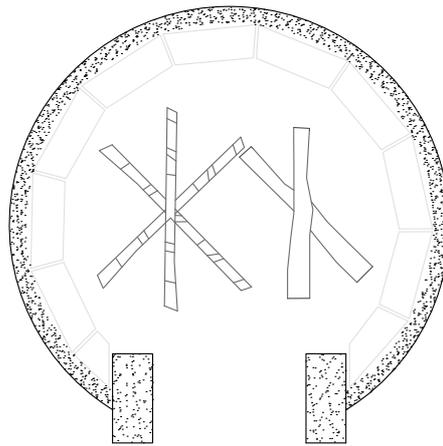
3.2.3 Clasificación de la CBA

Para obtener CBA lo suficientemente fina que logre pasar por el tamiz #10 se realizó un proceso de combustión lenta, se utilizó cúmulos con volumen de 1.04 m³ de BCA seco por más de 10 días donde se preparó en dos diferentes sitios, en horno artesanal y fogón donde se prepara panela de dulce para obtener alrededor de 30kg de ceniza. Se realizó una quema controlada de 5-6 horas haciendo movimientos para lograr quemar toda la materia, se pudo

observar que colocar madera en la parte baja funcionan como braza que permite quemar todas las fibras sobrantes del BCA y se puede obtener una mejor calidad de CBA aun que esta puede estar contaminada de 70% CBA y 30% de ceniza de madera en relación a su peso.

La ceniza con buenas características, se destacan por ser ultra finas las cuales se obtienen por procesos de tamizado.

Figura 26. Esquema de horno artesanal



Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 27. Combustión de bagazo en horno artesanal



Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos del análisis químico realizado por Fluorescencia de Rayos X de las muestras correspondientes.

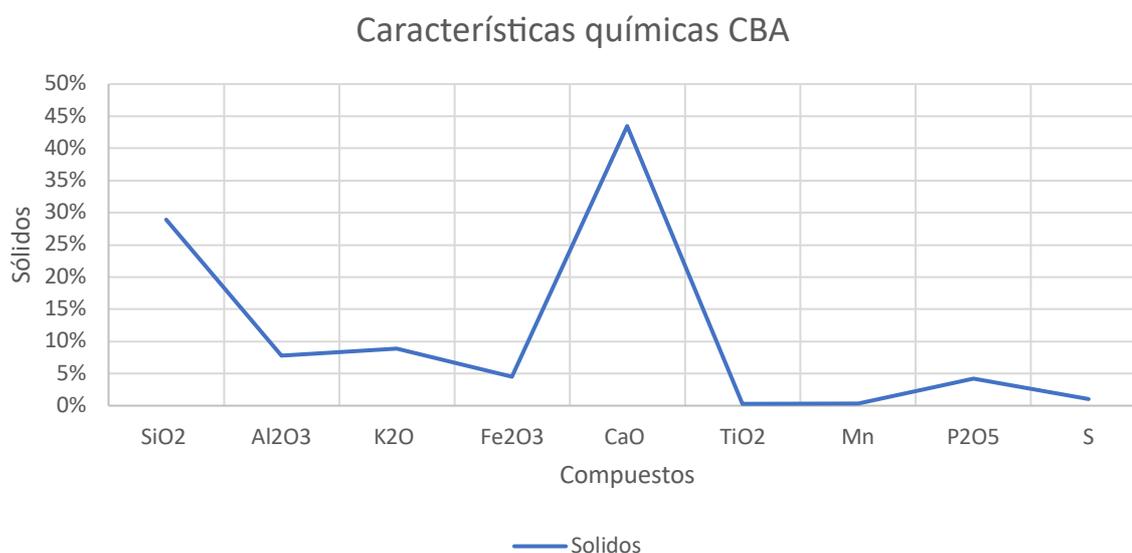
Figura 28. 70% de ceniza de bagazo de caña de azúcar

Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Tabla 13. Características químicas de la ceniza

Análisis químico de CBA									
Elementos (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	S
Sólidos	28,9	7.81	8.86	4.46	43.48	0.30	0.29	4.23	1.07

Nota.: Adaptado del Dpto. de Geología, Minas e Ingeniería Civil laboratorio de beneficio de minerales sala de geoquímica analítica por UTPL.(2018)

Figura 29. Curva de compuestos químicos de CBA

Nota: Adaptado de la investigación de campo del Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

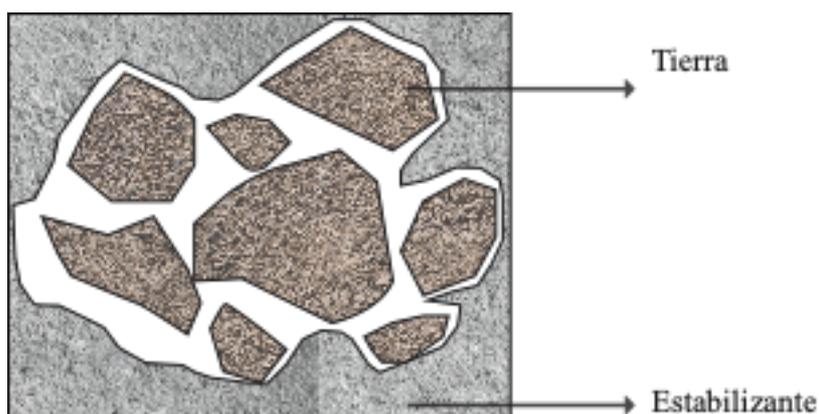
Estos resultados corresponden a la composición química de la expresada en elementos mayoritarios (>1%), minoritarios (<1 a 0,1%) y trazas (ppm).

Observaciones: El Na₂O y Carbono no es analizado por FRX, pero la muestra los puede contener.

3.2.3 Estabilizante

Para la experimentación de CBA con remplazo parcial de cemento en BTC se emplea cemento Portland, el cual básicamente cumple la función de estabilizante, la norma UNE 41410 recomienda el contenido total de éstos debe ser menor o igual al 15% de la masa en seco de BTC.

Figura 30. Estabilizante en partículas de tierra



Nota: Adaptado de Tratado de construcción con tierra por Houben H, et al, (1987)

3.2.4 Agua

En general, pueden emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica, El agua genera reacciones capilares, entre más finos los granos la resistencia a la tensión será mayor y abra una mayor absorción, debe analizarse las aguas que se utilicen para amasar los morteros a base de cemento o aquellas que se utilicen para fabricar los BTC en los que el cemento está entre sus constituyentes a modo de estabilizante con un $\text{pH} \geq 5$ y sulfatos, (SO_4^{2-}) $\leq 1 \text{ g/l}$ (1 000 p.p.m), determinado según la Norma UNE 83952:2008.

El agua es un factor muy importante para el fraguado de BTC, en esta investigación se

obtiene tierra limosa regular a pobre al incrementar su valor de agua puede volverse muy plástica y al no agregar suficiente agua puede volverse poco cohesiva la mezcla, por lo que se realiza una experimentación empírica de la mezcla en la que consiste en:

Agregar la cantidad de agua a la mezcla y luego de homogeneizar se coloca en un vaso desechable.

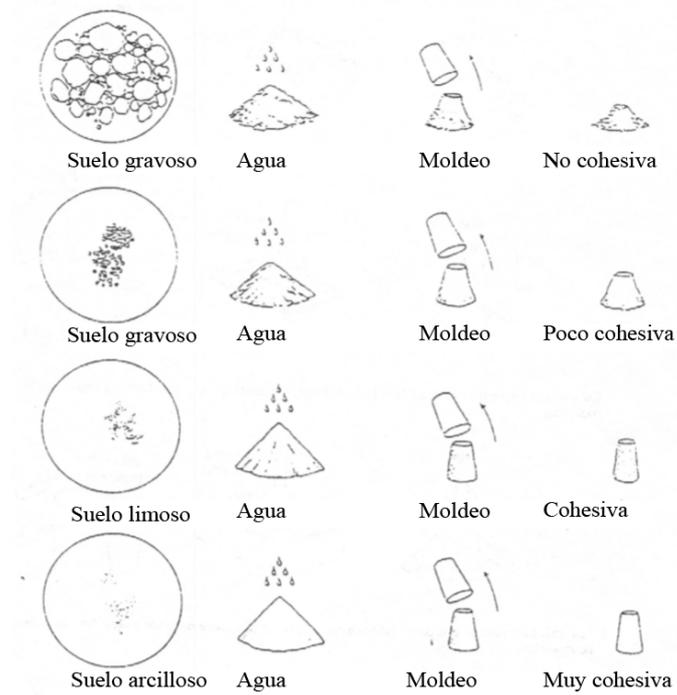
Se lo coloca el vaso en posición para retirar la mezcla y determinar la cohesión que existe.

Figura 31. Relación agua - mezcla



Nota: Adaptado de la gráfica de cantidad de agua usada por agregado de CBA por Torres (2021)

Figura 32. Comportamiento del agua en diferentes suelos



Nota: Adaptado de Tratado de construcción con tierra por *Houben H, et al, (1987)*

Figura 33. Mezcla de Suelo limoso + cemento + CBA (cohesivo)



Nota: Adaptado de Tratado de construcción con tierra. Este experimento demuestra como las partículas mezcladas toman la cohesión adecuada por *Houben H, et al, (1987)*

3.3 Herramientas

3.3.1 Herramientas para la elaboración de probetas

Figura 34. Prensa hidráulica con capacidad de resistencia de 12 Ton y gato hidráulico de 12 Ton añadido un manómetro con capacidad de 2000 psi.



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. La prensa permite medir la cantidad de PSI que será sometida la mezcla por Torres (2021)

Figura 35. Guantes de hule Nro. 9



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. Los guantes brinda protección para manipular los materiales por Torres (2021)

Figura 36. Balanza de resorte con capacidad de 5kg



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. Instrumento nos permite con mayor exactitud cantidades pequeñas por *Torres (2021)*

Figura 37. Balanza de resorte con capacidad de 50kg



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. Instrumento nos permite medir cantidades más grande por *Torres (2021)*

Figura 38. Recipiente de plástico con peso de 1lb



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. Recipiente que permite colocar los materiales y pesar por *Torres (2021)*

Figura 39. Herramienta para mezclar los materiales



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. Permite una manipulación más eficaz al mezclar por *Torres* (2021)

Figura 40. Tamiz número 10 de abertura 1.0 mm



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. Ayuda a obtener partículas más uniformes por *Torres* (2021)

Figura 41. Martillo de goma.



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. Herramienta que en este caso se usa para poder compactar mejor las esquinas en el molde por *Torres* (2021)

3.3.2 Herramientas para pruebas de laboratorio

El equipo e implementos de laboratorio utilizados en la ejecución de la presente investigación corresponden al siguiente:

- Herramientas manuales

Figura 42. Calibrador mecánico



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 43. Balanza de precisión



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

- Prensa hidráulica para ensayos de compresión
- Equipo para ensayo de resistencia a la flexión
- Laptop

3.4 Molde

El molde para la elaboración de BTC se divide en 4 partes:

- a) Cajón de 2 partes: Elaborado con acero de 12mm de espesor, formando un cajón interno de 29.5x14.0x10 cm.

- b) Tapa inferior: Elaborado de acero de 12mm de espesor, presenta unas dimensiones de 35x20 cm, tiene un eje en la parte central que es donde se asienta la mezcla
- c) Tapa superior: Elaborada con acero de 12mm de espesor, presenta dimensiones de 14x29.5 cm con un anillo central que facilita la ubicación de su centro acompañado con nervaduras que sirven de guías y distribuyen de forma uniforme la carga.

Figura 44. Parte lateral del cajón del molde vista en perspectiva



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 45. Cajón de acero vista perspectiva



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 46. Tapa superior



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 47. Tapa inferior

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

3.5 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla para BTC se puede realizar por peso o volumen, en esta experimentación se realiza de acuerdo al peso. La metodología que se utiliza se basa en los estudios de “El uso de cenizas y cal de bagazo de caña de azúcar para mejorar la durabilidad y las propiedades mecánicas de los bloques de tierra compactada” de (Alavéz et al, 2012), las variables de estudio de acuerdo al tipo de mezcla y el tiempo transcurrido (edad de fraguado).

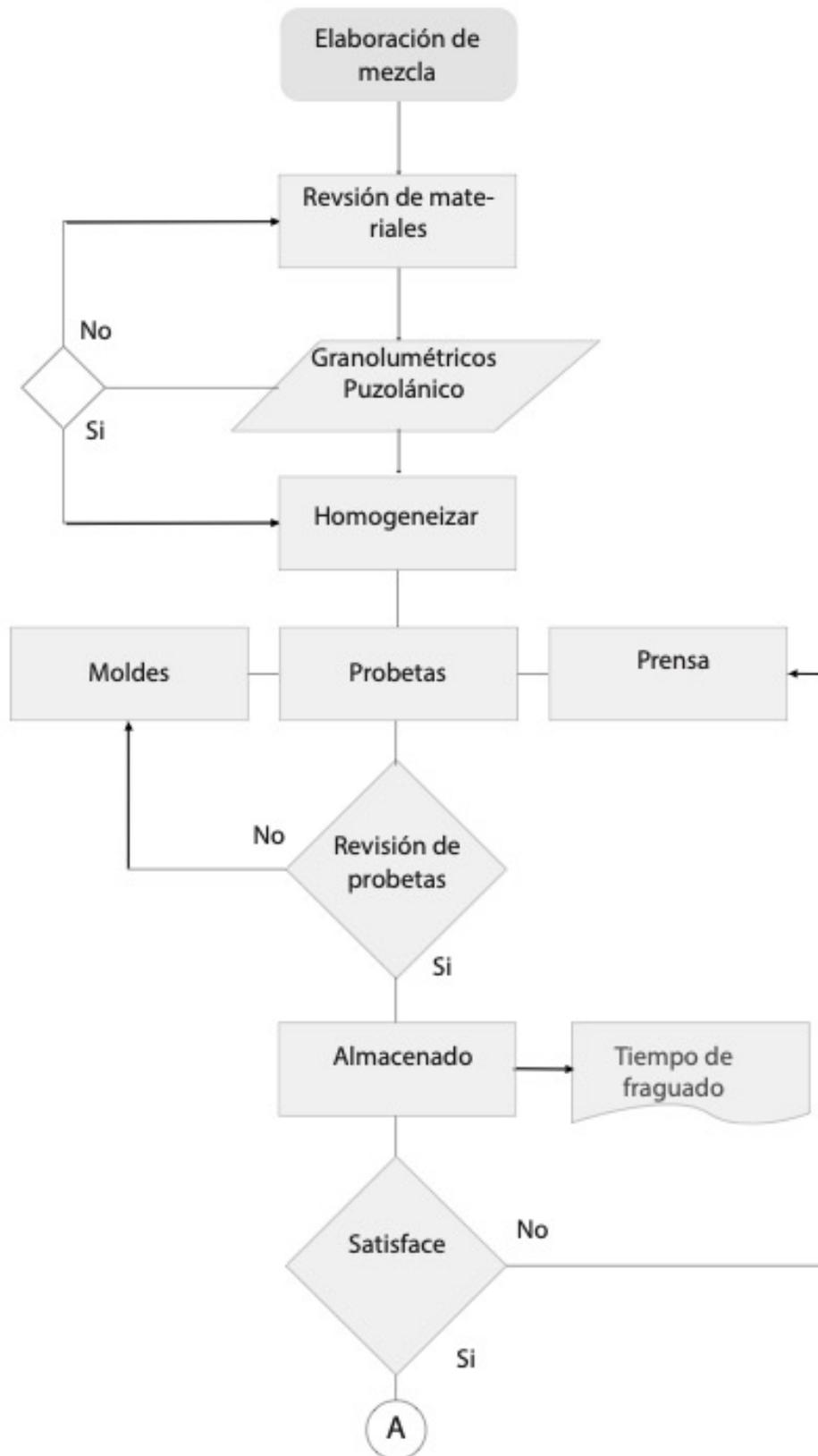
3.5.1 Datos generales de las probetas para flexión y compresión

Tabla 14. Datos generales de las probetas

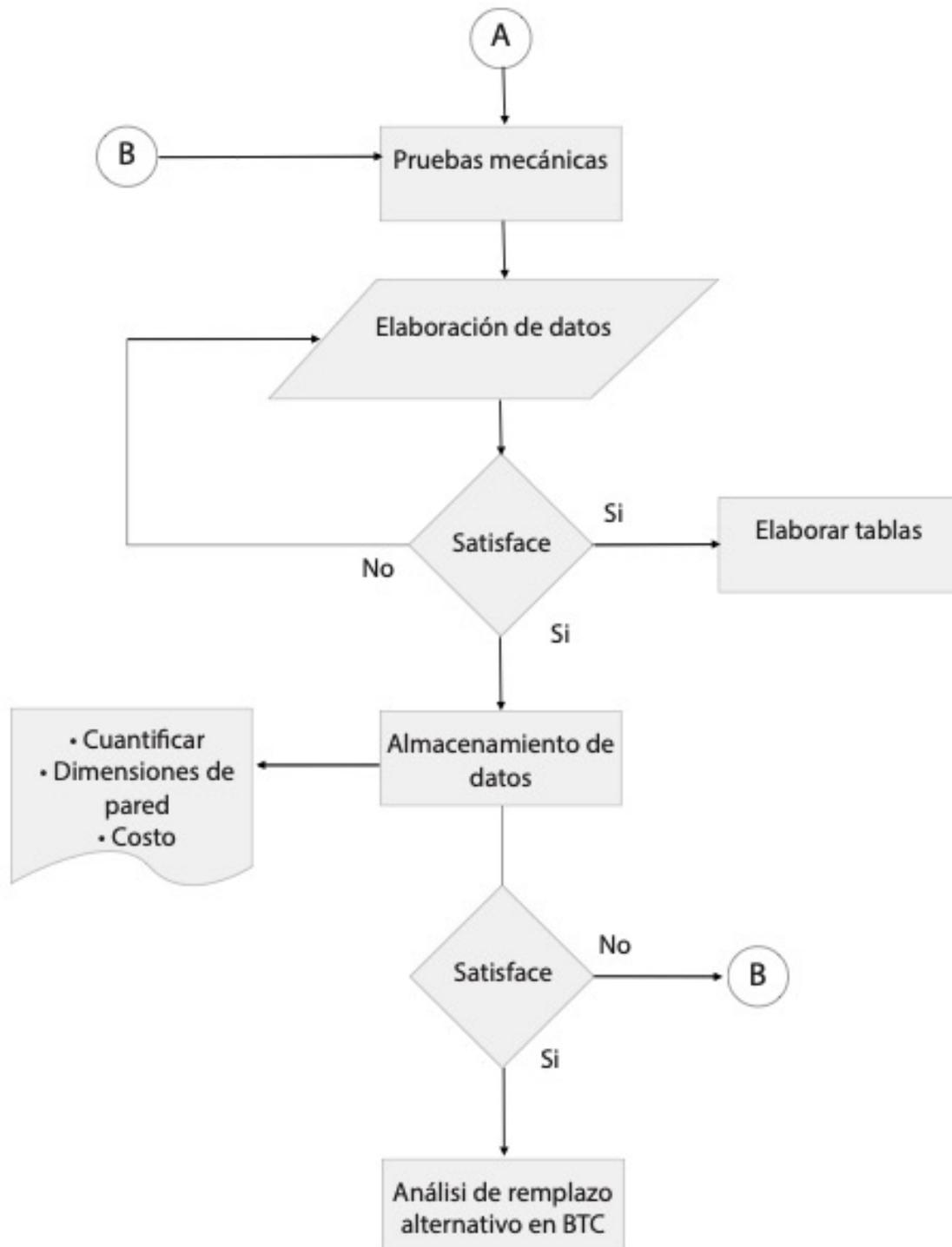
Probeta	Tierra (kg)	Cemento (kg)	CBA (kg)	Agua (kg)	Compactación (psi)	Fecha	Fraguado (días)	Espécimen
BTC1 - C1	7	1.05	0	1.3	2000	Diciembre-20-2020	7	3
BTC1 - C2	7	1.05	0	1.3	2000	Diciembre-20-2020	14	3
BTC1 - C3	7	1.05	0	1.3	2000	Diciembre-20-2020	28	3
BTC2 - C1	7	1.05	0.25	1.8	2000	Diciembre-15-2020	7	3
BTC2 - C2	7	1.05	0.25	1.8	2000	Diciembre-15-2020	14	3
BTC2 - C3	7	1.05	0.25	1.8	2000	Diciembre-15-2020	28	3
BTC3 - C1	7	1.05	0.5	2.2	2000	Diciembre-01-2020	7	3
BTC3 - C2	7	1.05	0.5	2.2	2000	Diciembre-01-2020	14	3
BTC3 - C3	7	1.05	0.5	2.2	2000	Diciembre-01-2020	28	3
BTC1 - F1	7	1.05	0	1.3	2000	Diciembre-20-2020	7	3
BTC1 - F2	7	1.05	0	1.3	2000	Diciembre-20-2020	14	3
BTC1 - F3	7	1.05	0	1.3	2000	Diciembre-20-2020	28	3
BTC2 - F1	7	1.05	0.25	1.8	2000	Diciembre-15-2020	7	3
BTC2 - F2	7	1.05	0.25	1.8	2000	Diciembre-15-2020	14	3
BTC2 - F3	7	1.05	0.25	1.8	2000	Diciembre-15-2020	28	3
BTC3 - F1	7	1.05	0.5	2.2	2000	Diciembre-01-2020	7	3
BTC3 - F2	7	1.05	0.5	2.2	2000	Diciembre-01-2020	14	3
BTC3 - F3	7	1.05	0.5	2.2	2000	Diciembre-01-2020	28	3

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 48. Concepto de elaboración de mezcla



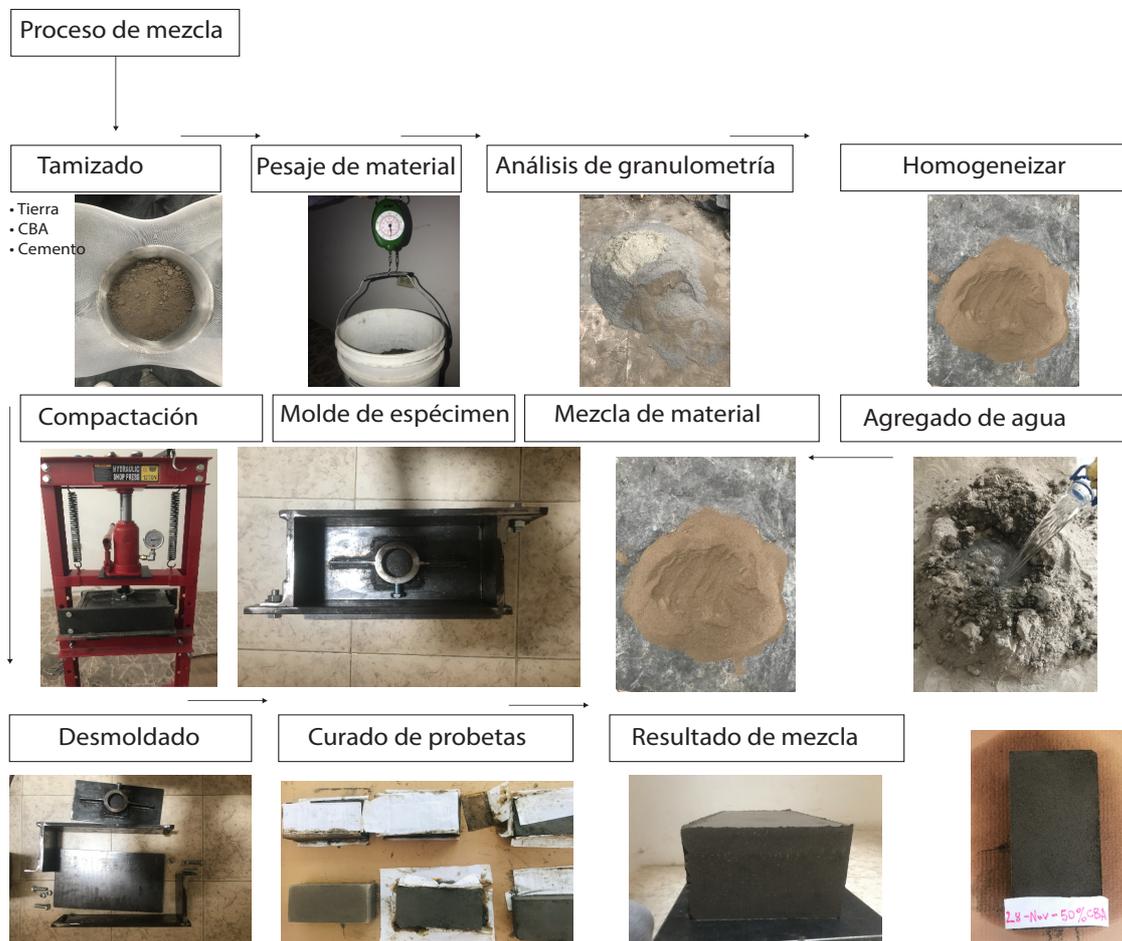
Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

3.5.2 Preparación de la mezcla

Figura 49. Proceso de diseño de mezcla



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Tabla 15. Resumen de probetas a compresión

Ensayo a Compresión	7 días	14 días	28 días
0% CBA	3	3	3
25% CBA	3	3	3
50% CBA	3	3	3
Total de especímenes	9	9	9
			$\Sigma = 27$

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Tabla 16. Resumen de probetas a flexión

Ensayo a flexión	7 días	14 días	28 días
0% CBA	3	3	3
25% CBA	3	3	3
50% CBA	3	3	3
Total de especímenes	9	9	9
			$\Sigma = 27$

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Para la elaboración de mezcla pasa primero por un proceso de tamizado los materiales (tierra, ceniza y cemento) para tener partículas uniformes y una mezcla homogeneizada.

Figura 50. Ceniza de bagazo de caña de azúcar

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 51. Cemento

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

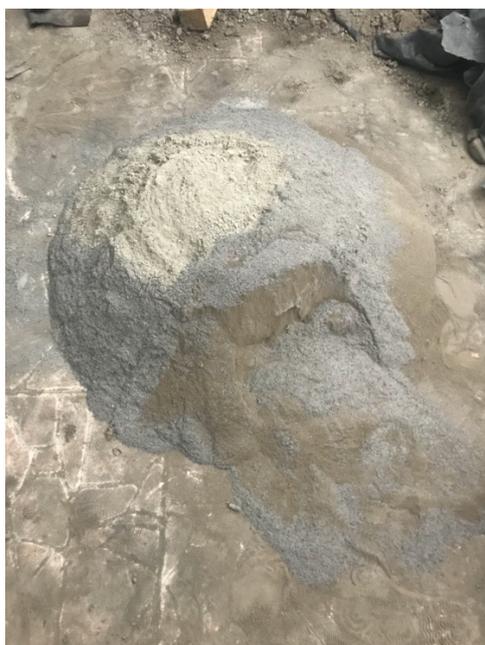
Figura 52. Tierra limosa tamizada



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

1. Una vez tamizada la tierra se utiliza las partículas más finas que pasan la malla e igual forma el cemento. Se hizo giros de mezcla de derecha a izquierda durante unos 10 minutos hasta que tome una tonalidad de color y homogenización uniforme.
2. La dosificación es de 1:7, se agregó 7 kg de tierra por 1kg de cemento para BTC con 0% de CBA.

Figura 53. Mezcla realizada con dosificación con 50% CBA



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 54. Resultado de mezclar con agua



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

1. Se agregó agua en el centro de la mezcla, alrededor de 1 litro de agua y se amaso durante 12-15 min. Para comprobar el valor de agua se hizo una prueba empírica que consiste en:

Colocar una porción de la mezcla en la palma de la mano y comprimirla con los dedos.

Al abrir la mano; la bola formada debe guardar la marca de los dedos.

Haciendo caer la bola desde una altura de 1,0 metros, ella tiene que romperse.

En caso de que no se consiga formar la bola con la marca de los dedos en la mano, la humedad es insuficiente; si la bola, al caer, se mantiene entera, la humedad es excesiva.

Figura 55. Prueba empírica de la tierra



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 56. Resultado de la prueba empírica



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

2. Preparación de mezcla en el molde, se colocó mezcla hasta el límite de superior del molde llegando a una presión de 2000 psi alcanzando una altura de 5cm, lo cual se pasó una brocha con poca agua sobre la superficie compactada, para luego colocar más mezcla y compactar hasta los 9.5cm

Figura 57. Se compacta las esquinas para evitar imperfecciones



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación se realiza este proceso porque se comprobó que mejora las características del BTC por Torres (2021)

Figura 58. Desmoldado de BTC vista superior



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. Por ser un molde con pernos se tiene precaución al retirar ya que la mezcla contiene plasticidad y es necesario evitar las paredes del acero se unan al BTC y ocasionen imperfecciones por
Torres (2021)

3. Desmoldado, una vez concluido la compactación y haber obtenido la dimensión planteada del BTC, se retira la tapa superior y los pernos laterales.

Figura 59. BTC desmoldado



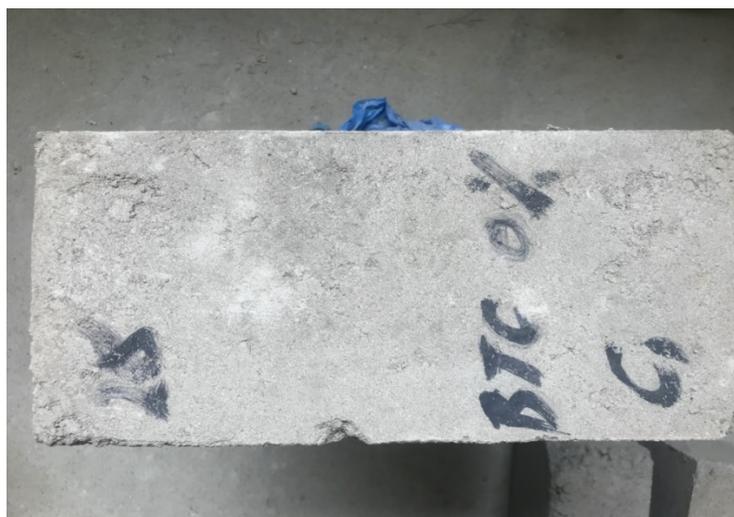
Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación Las principales características al desmoldar son las aristas por *Torres (2021)*

3.5.3 Probetas elaboradas

3.5.3.1 Dosificación para adición en 0% CBA.

Para esta dosificación se consideró la mezcla de 7 kg de tierra, 0 kg de ceniza, 1.05 kg de cemento y 1.3 kg de agua por BTC.

Figura 60. BTC con 0% de CBA a los 28 días de fraguado



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 61. BTC con 0% de CBA a los 14 días de fraguado



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

3.5.3.2 *Dosificación para adición en 25% CBA*

Para esta dosificación se consideró la mezcla de 7 kg de tierra, 0.25 kg de ceniza, 1.05 kg de cemento y 1.8 kg de agua por BTC.

Figura 62. BTC con 25% de CBA a los 28 días de fraguado



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

3.5.3.3 *Dosificación para adición en 50% CBA*

Para esta dosificación se consideró la mezcla de 7 kg de tierra, 0.5 kg de ceniza, 1.05 kg de cemento y 2.2 kg de agua por BTC.

Figura 63. Comienzo del proceso de fraguado de BTC con 50% de CBA



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 64. BTC con 50 % de CBA a los 28 días de fraguado



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 65. Proceso de curado del BTC



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. Se rocía 2 – 3 agua veces al día una vez que es desmoldado, debido al contenido de cemento su absorción es alta por Torres (2021)

Figura 66. Se asienta en un cartón húmedo dentro de una habitación cerrada para su fraguado.



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación. En la mayoría de los bloques se coloca papel con aceite quemado, se comprobó que facilita el desmolde por *Torres (2021)*

3.4.3 Observaciones

Siendo la investigación experimental un proceso sistémico, las variables permiten contralar los aumentos, el estudio de tierra como materia para la fabricación de BTC cada uno de sus componentes naturales son manipuladas para caracterizar la mezcla experimental planteada.

Los niveles de mezcla que varían en la experimentación son CBA y cemento portland, enfocado a los BTC con 15% de cemento y 25% CBA, aquellos con 15% de cemento y 50% CBA.

Con respecto a la variable de tiempo transcurrido, o edad de fraguado, las mezclas se pretenden analizar en 7, 14 y 28 días después de su elaboración. Las variables de respuesta son resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y absorción de agua. Teniendo en cuenta la humedad en el transcurso de fraguado recubrir con material de papel y humedecer para que genere exudación sobre el bloque.

Capítulo 4

4. Resultados

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Resistencia a la compresión

Para esta prueba se realizó un el ensayo de las probetas fraguadas a 7, 14 y 28 días, con dimensiones de 14x29.5 cm. Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de suelos GEOCONS.

Proceso de compresión:

1. Se mide largo ancho y grosor, con ayuda de un calibrador en cada una de las probetas realizadas.

Los datos generales para la resistencia se basan en las normas antes revisadas.

Figura 67. Se mide la probeta antes del ensayo



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

2. Se pesan las probetas, con una precisión de 0.1 Kg, para obtener datos respectivos de las probetas.

Tabla 17. Características para ensayo a compresión

Velocidad de ensayo	1.0 kN/s
Porcentaje de rotura	10%
Precarga	10 kN
Tipo de ensayo	Compresión
Tipo de probeta	Bloque
Lado 1	A= 413 cm ²
Lado 2	

Se coloca la probeta centrada a la base hidráulica como indica la imagen, el proceso se mantendrá para cada una de las probetas.

Figura 68. Inicio de ensayo a compresión



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación se coloca base de metal para obtener un ajuste adecuado para el ensayo por Torres (2021)

Nota:

Figura 69. Esfuerzo máximo de resistencia de la probeta



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación, se logra observar que el BTC no se deforma en su totalidad por Torres (2021)

3. Se toma datos al momento de su ruptura.

Figura 70. Los datos indican una resistencia máxima de 3.9 Mpa



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

4. Probeta utilizada en el ensayo

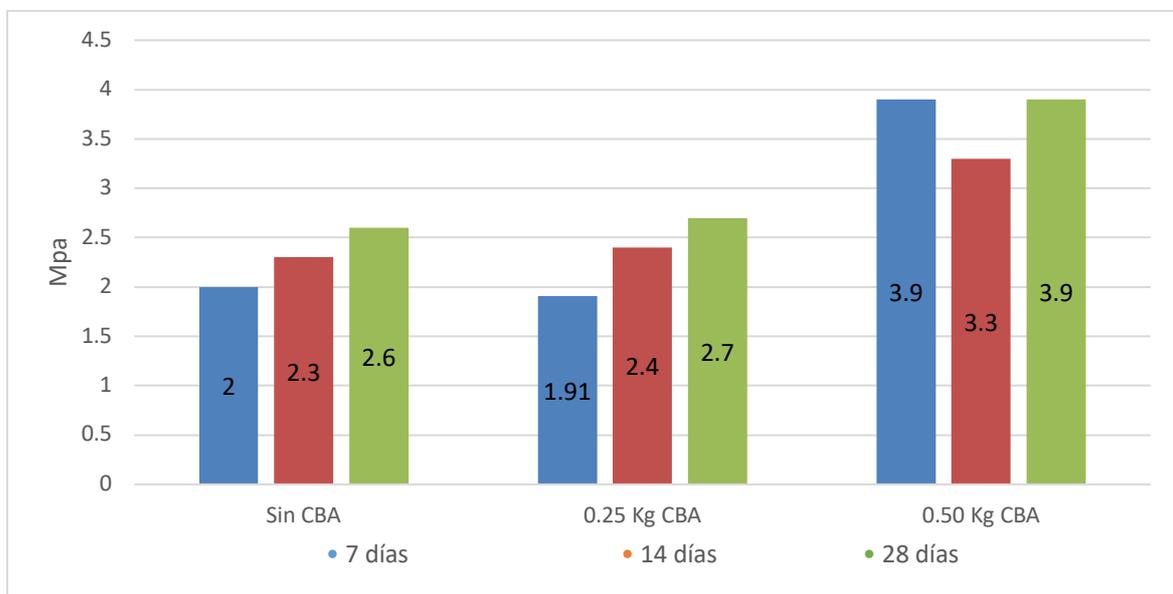
Figura 71. Resultado lateral del BTC



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Resultados de ensayo

Figura 72. Resistencia a la compresión



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

4.1.2 Resistencia a la flexión.

Proceso de flexión

1. Se mide largo ancho y grosor, con ayuda de un calibrador en cada una de las probetas realizadas (imagen).
2. Se pesan las probetas, con una precisión de 0.1 Kg, para obtener datos respectivos de las probetas.
3. Se mide el diámetro y longitud de los apoyos

Figura 73. Diámetro de soporte para la ruptura a flexión



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación, se realiza este proceso para facilitar la posición de la probeta por Torres (2021)

Figura 74. Se mide la longitud del soporte



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación, se realiza este proceso para facilitar la posición de la probeta por Torres (2021)

4. Se mide las distancias entre apoyos que no sea menor o mayor a $L = 15\text{cm}$ (se puede considerar un valor entre 15cm a 20cm adaptándose a la máquina de flexión). Se utilizó plastilina para estabilizar los apoyos como se observa en la imagen.

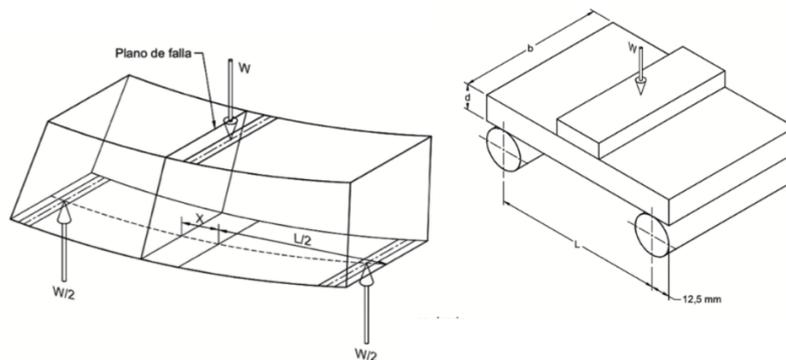
Figura 75. Se coloca los apoyos en una base de plastilina y se posiciona el BTC



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación, se coloca plastilina para inmovilizar los apoyos y facilitar el proceso por Torres (2021)

5. Se enciende la máquina y se toma datos al momento de su rotura.
6. Seguido se procede hacer los cálculos respectivos ya que la maquina nos da valores en libras fuerza. Como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 76. Libras fuerza



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

En donde:

W= Carga aplicada, en N

L= distancia entre los soportes de apoyo, en mm

b y d= ancho y alto respectivamente, en mm

$$Mr = \frac{3W \left(\frac{L}{2} - x \right)}{bd^2}$$

MR= módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en Pa o Mpa

W= carga máxima indicada por la máquina de prueba, en N

L= distancia entre soportes (medida centro a centro), en mm

b= ancho neto (distancia de cara a cara) de la probeta en el plano de falla, en mm

x= distancia promedio de plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión, en mm

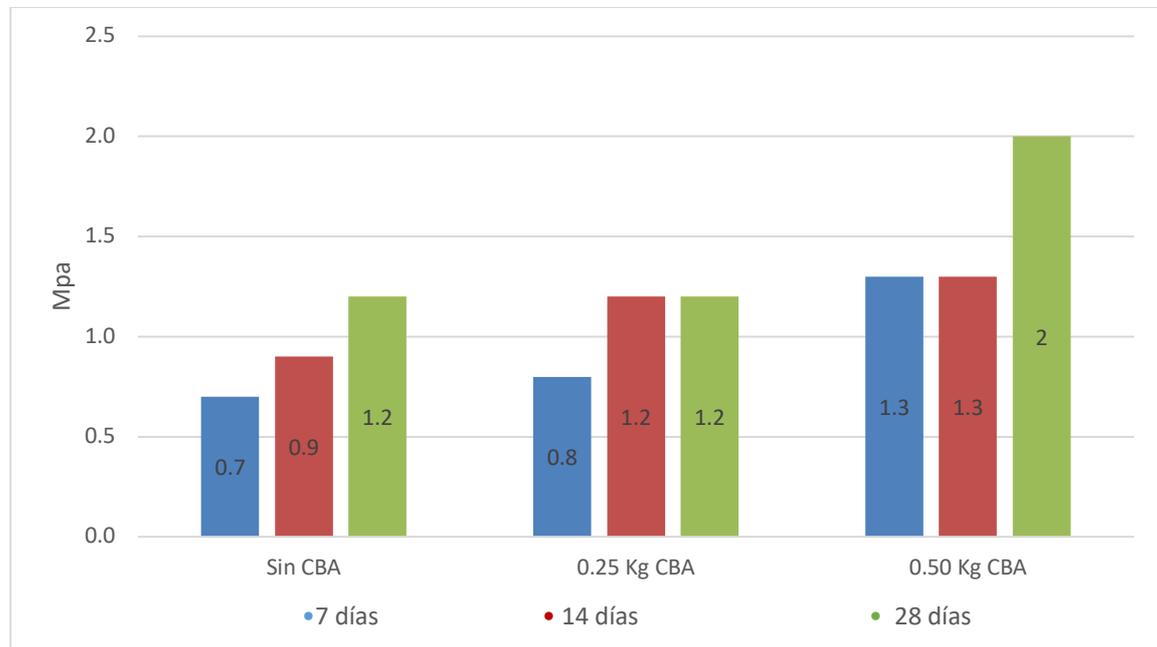
Figura 77. Resistencia máxima obtenida 715 lbf



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación, se transforma ese dato para obtener Mpa por Torres (2021)

- **Resultados de ensayo**

Figura 78. Resistencia a flexión



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

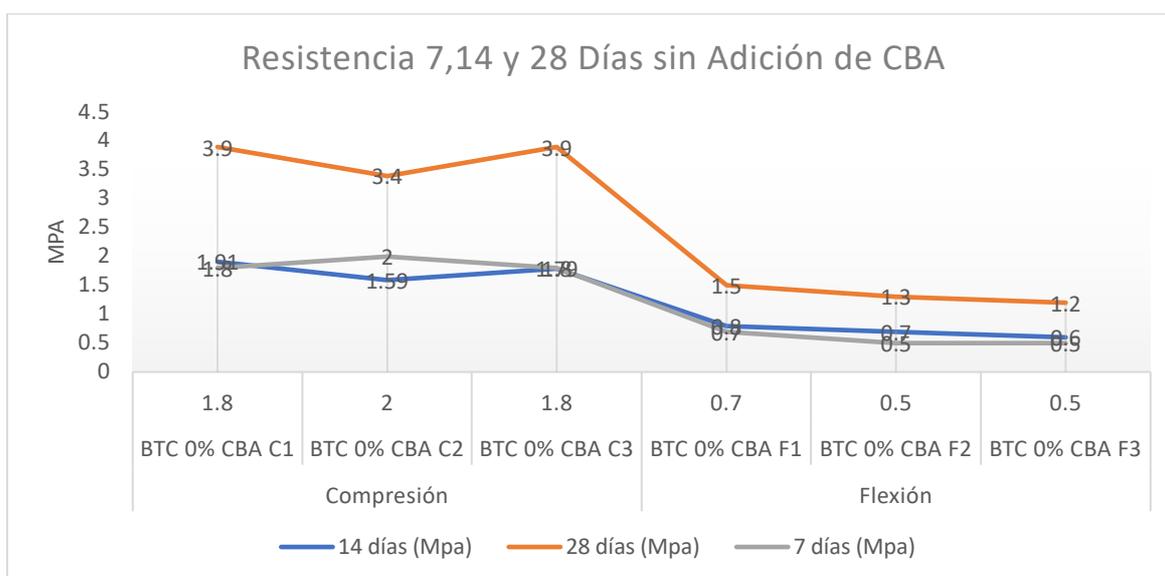
4.2 Resumen de probetas

La siguiente tabla resume las características de probetas elaboradas con 0% de adición de CBA.

Tabla 18. Resistencia 7,14 y 28 días con 0% de CBA

<i>Resistencia 7,14 y 28 días con 0% de CBA</i>				
Ensayo	Probetas	7 días (Mpa)	14 días (Mpa)	28 días (Mpa)
Compresión	BTC 0% CBA C1	1.8	1.91	3.7
	BTC 0% CBA C2	2.0	1.85	3.4
	BTC 0% CBA C3	1.8	1.79	3.9
Flexión	BTC 0% CBA F1	0.7	0.8	1.2
	BTC 0% CBA F2	0.5	0.7	1.3
	BTC 0% CBA F3	0.5	0.6	1.2

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 79. Resistencia 7,14 y 28 días con 0% de CBA

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

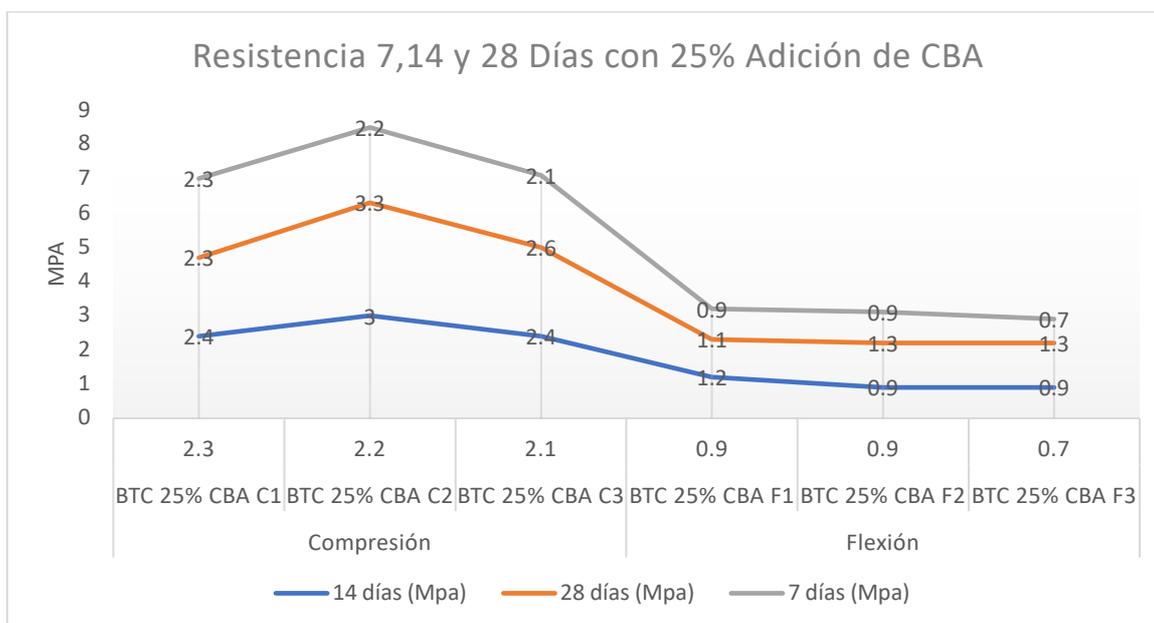
La siguiente tabla resume las características de probetas elaboradas con 25% de adición de CBA.

Tabla 19. Resistencia 7,14 y 28 días con 25% adición de CBA

Resistencia 7,14 y 28 días con 25% adición de CBA

Ensayo	Probetas	7 días (Mpa)	14 días (Mpa)	28 días (Mpa)
Compresión	BTC 25% CBA C1	2.3	2.4	2.3
	BTC 25% CBA C2	2.2	3	3.3
	BTC 25% CBA C3	2.1	2.4	2.6
Flexión	BTC 25% CBA F1	0.9	1.2	1.1
	BTC 25% CBA F2	0.9	0.9	1.3
	BTC 25% CBA F3	0.7	0.9	1,3

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 80. Resistencia 7,14 y 28 días con 25% adición de CBA

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

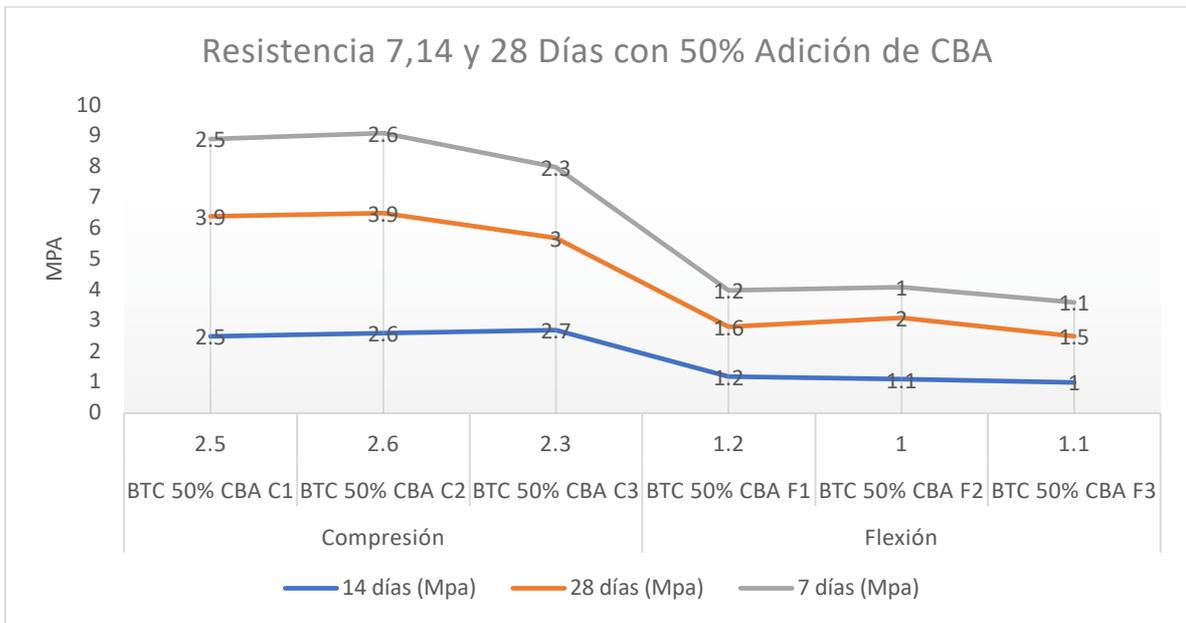
La siguiente tabla resume las características de probetas elaboradas con 50% de adición de CBA.

Tabla 20. Resistencia 7,14 y 28 días con 50% adición de CBA

<i>Resistencia 7,14 y 28 días con 50% adición de CBA</i>				
Ensayo	Probetas	7 días (Mpa)	14 días (Mpa)	28 días (Mpa)
Compresión	BTC 50% CBA C1	2.5	2.5	3.2
	BTC 50% CBA C2	2.6	2.6	3.9
	BTC 50% CBA C3	2.3	2.7	3.5
Flexión	BTC 50% CBA F1	1.2	1.2	1.6
	BTC 50% CBA F2	1	1.1	2
	BTC 50% CBA F3	1.1	1	1.5

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Figura 81. Resistencia 7,14 y 28 días con 50% adición de CBA



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

La siguiente tabla resume las características de ladrillo cerámico de una fábrica de ladrillo de Catamayo.

4.2.1 Ensayos de resistencia del ladrillo cerámico

Figura 82. Ensayos de resistencia del ladrillo cerámico



Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Tabla 21. Resistencia de ladrillo cocido para Mampostería

<i>Resistencia de ladrillo cocido para Mampostería</i>		
Ensayo	Probetas	(Mpa)
Compresión	M1	3.5
	M2	4.4
	M3	4
Flexión	M1	1.4
	M2	1.3
	M3	1

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por *Torres (2021)*

4.2.2 Promedios de resistencia

Los valores en media aritmética obtenidos de los ensayos a compresión y flexión

Tabla 22. Promedio de resistencia a compresión

Fraguado	0% CBA	25% CBA	50% CBA
7 días	1.8	2.2	2.5
14 días	1.85	2.6	2.6
28 días	3.6	2.8	3.9

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por *Torres (2021)*

Tabla 23. Promedio de resistencia a flexión

Fraguado	0% CBA	25% CBA	50% CBA
7 días	0.56	0.83	1.1
14 días	0.7	1	1.1
28 días	1.23	1.25	1.7

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por *Torres (2021)*

4.3 Interpretación de resultados

Los BTC se elaboraron a partir de variables principales como la CBA y agua, el porcentaje de CBA fue tomado en relación al cemento pesada en Kg y de igual manera el agua como indica en la tabla. En las siguientes tablas se muestra una comparación de resultados con la bibliografía estudiada.

Tabla 24. Composición química de la ceniza de bagazo.

Compuestos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	S
Alavéz et al.	51.66	9.92	2.1	2.32	1.55	0.14	0.74	0.9	DNR
Lima et al.	96.2	1.9	0.3	DNR	0.1	DNR	DNR	0.1	DNR
Salim et al.	73	6.7	2.4	6.3	2.8	DNR	DNR	4	DNR
Sadeeq et al.	57.95	8.23	2.41	3.96	4.52	DNR	DNR	DNR	DNR
Cordeiro et al.	60.96	0.09	9.02	0.09	5.97	0.48	DNR	8.34	DNR
Vidal et al.	58.6	11.8	2	5.8	3	DNR	DNR	DNR	DNR
Autor	28,9	7.81	8.86	4.46	43.48	0.3	0.29	4.23	1.07

Nota: DNR: Dato no registrado. Los componentes son variantes en cada uno de la literatura revisada, en la presente investigación el alto contenido de CaO se puede dar por la combustión de madera añadida en el proceso de combustión de bagazo de caña de azúcar. Por Torres (2021)

Los principales componentes activos como el SiO₂ y CaO son los más predominantes que se logra observar y pueden ser comparados con los del cemento, estos sólidos en BTC implican su adicción a la matriz de suelo estabilizado para lograr beneficios adicionales en el rendimiento de su resistencia.

Tabla 25. Papel de la ceniza de bagazo en el desempeño de bloques

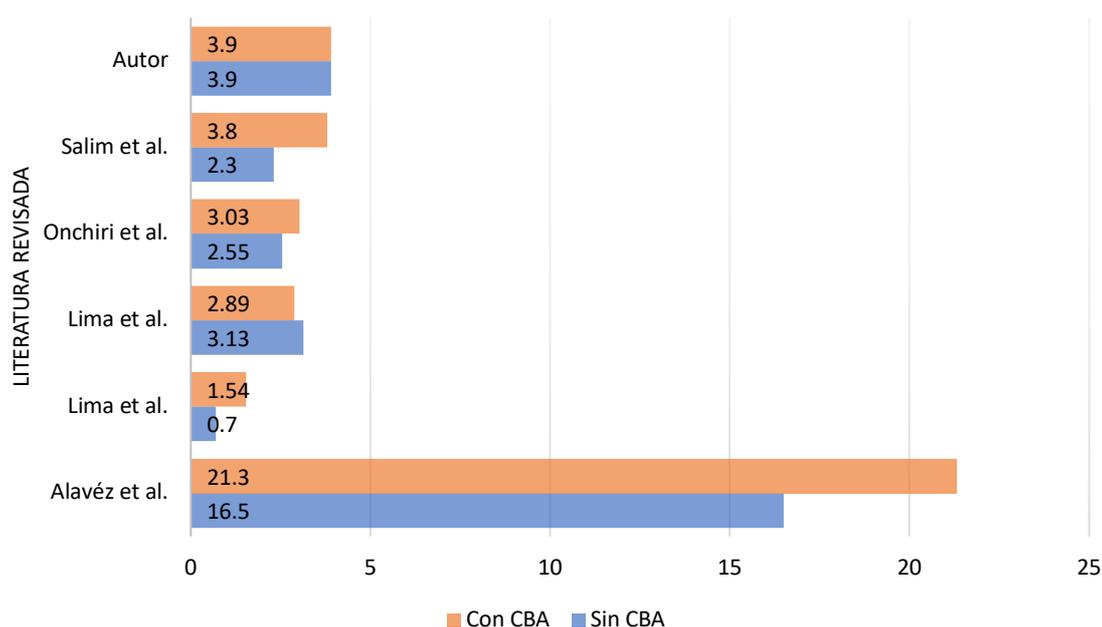
Autores	Estabilizador	Dimensión de bloque (cm)	Dosificación óptima de ceniza de bagazo	Ensayo	Sin CBA (Mpa)	Con CBA (Mpa)
Alavéz et al.	10% Limo	30 x 15 x 12	10% adición	Compresión	16.5	21.3
				Flexión	1.12	1.4
Lima et al.	6% Cemento	DNR	8% adición	Compresión	0.7	1.54
	12% Cemento				8% adición	3.13
Onchiri et al.	4.8 % Cemento	DNR	3.20%	Compresión	2.55	3.03
Salim et al.	DNR	28.5 x 14.5 x 9.5	10%	Compresión	2.3	3.8
Autor	15% Cemento	29.5 x 14.5 x 9.5	25% adición	Compresión	3.9	3.3
			50% adición			3.9
			25% adición	Flexión	1.7	1.3
			50% adición			2

Nota: DNR: Dato no registrado. Se puede apreciar que los resultados son variables en la literatura, hay que tener en cuenta que la tierra que se toma en cada uno de los autores es diferentes, es un factor importante a la hora de elaborar probetas con tierra, ya que existe una amplia clasificación de tierras. En la presente investigación la tierra obtuvo una clasificación A-4 (limosa regular a pobre) por Torres (2021)

Tabla 26. Comparación de resultados

Alavéz et al.	16.5	21.3
	0.7	1.54
Lima et al.	3.13	2.89
Onchiri et al.	2.55	3.03
Salim et al.	2.3	3.8
Autor	3.9	3.9

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por *Torres (2021)*

Figura 83. Comparación de resultados a compresión

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por *Torres (2021)*

La información revisada muestra la adición o remplazos de CBA que da como resultado una mejora en sus ensayos de resistencia de los BTC en la mayoría de los casos. Se aprecia que se obtiene un rendimiento mejorado en comparación con los bloques no estabilizados, en la presente investigación los porcentajes de cemento y tierra son constantes, la CBA no excede el 50% de su adición en relación al cemento y el agua no excede los 2.2 Kg por bloque.

Para determinar la cantidad de material para la mezcla se realizó un proceso para establecer la adecuada cantidad para cada bloque y poder obtener las medidas requeridas. A las probetas se les realizó ensayo físicos – mecánico para evaluar las propiedades, se analizó la norma UNE 404010, NTC 5324 y UNE.

Los resultados de los ensayos demuestran un incremento de su estabilidad a los primeros 14 días conforme al aumento de CBA 0%, 25% y 50%, luego de los 14 días, se puede observar que comienza a perder más adherencia y resistencia. En el caso de las probetas con 0% de CBA a los 28 días iguala la resistencia de las probetas con un 50% de CBA por lo cual este efecto es producido por el fraguado perdiendo adherencia de las partículas después de los 14 días. Sin embargo, se ha informado que la ceniza de bagazo se comporta mejor con contenidos de cemento más bajos en comparación con contenidos de cemento más altos James, J., & Pandian, P. K. (2017).

Los mejores resultados, se obtuvo con los BTC de 50% de CBA en los ensayos a flexión, a compresión donde fueron iguales a los BTC con 0% de CBA esto se debe a que la cohesión de la materia se ve dificultada por la tierra limosa regular a pobre que se obtuvo de las fabricas artesanales de Catamayo.

Se hizo pruebas de resistencia de ladrillos de mampostería para comparar con los BTC elaborados los ensayos a compresión en los ladrillos se obtiene una mayor resistencia lo cual beneficia el sector de la construcción, sin embargo, su producción conlleva una contaminación creciente para el medio ambiente.

El factor económico es importante para la elaboración de nuevos materiales al competir con el ladrillo cerámico de las fabricas artesanales donde se realizó el estudio.

El precio por unidad de ladrillo es de 15 ctvs en la fábrica de elaboración.

El precio por unidad de BTC puede variar ya que la diferencia en la producción industrial, artesanal y doméstico es factible basado en su continuidad de su elaboración. En esta investigación se realizó BTC doméstico por lo que se logró conseguir todos los materiales y herramientas necesarias para su elaboración, el precio por unidad de BTC casero es **de 0.386 ctvs** como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 27. Precio de BTC en la presente investigación en (elaboración doméstica)

Precio de elaboración de BTC			
	Elementos	Unidad	Precio (USD)
Material	180 kg Tierra	18 BTC	5
	6.5 - 7.5 kg Tierra	1 BTC	0.2
	Perdida de Tierra	1 Kg	0.026
	Cemento	1 Kg	0.16
	CBA	30 Kg	0
	Agua	1 Kg	0
Herramienta	Prensa	1	180
	Gato Hidráulico	1	50
	Manómetro instalado	1	180
	Molde de 4 piezas	1	3.5
	Balanza de resorte	1	4.5
	Martillo de goma	1	3.5
	Tamiz	1	3.5

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por *Torres (2021)*

Las comparaciones con los valores exigidos por las normativas presentan los siguientes resultados:

- De acuerdo con la norma UNE 41410 2008 los BTC cumplen con los requisitos mínimos establecidos de resistencia a compresión.
- De acuerdo con la norma ecuatoriana NEC-SE-CG 2011 cumple con los requisitos mínimos establecidos de resistencia a compresión.
- De acuerdo con la norma colombiana NTC 5324 2004 no cumple con los requisitos mínimos establecidos de resistencia a compresión.

Tabla 28. Comparaciones con los valores exigidos por las normativas

Norma	Probeta de ensayo	Resistencia solicitada (Mpa)		Observación
		Seco	Saturado	
UNE 41410	BTC entero o medio BTC, en posición horizontal	1.3 3.0 5.0	-	Remover imperfecciones “raspando” las superficies. Opcionalmente, se puede encabezar con pasta de cemento de 3 mm de espesor.
NTC 5324	BTC partido en 2, asentado con junta de mortero de cemento de 1 cm de espesor, o el que se empleará en obra (composición y material).	2.0 4.0 6.0	1.0 2.0 3.0	Con pasta de cemento de 3 mm de espesor; o empleando hojas de cartón o madera contrachapada tricapa de 3 mm. Se recomienda no emplear Neopreno.
NPE.080	El valor del esfuerzo resistente en compresión se obtendrá en base al área de la sección transversal, debiéndose ensayar un mínimo de 6 cubos, definiéndose la resistencia última (f_0) como el valor que sobrepase en el 80% de las piezas ensayadas.	6	-	Las juntas horizontales y verticales no deberían exceder de 2 cm y deberán ser llenadas completamente.
NEC-SE-CG 2011	La resistencia especificada corresponde a la fuerza de rotura dividida entre el área bruta de bloque ó ladrillo	2.0 3.0 3.0	-	La norma indica que las unidades que se empleen en la construcción de muros de mampostería confinada deben tener al menos las resistencias mínimas que se proporcionan
Autor	BTC entero BTC entero, en posición horizontal	3.9	-	Remover imperfecciones “raspando” las superficies.

Nota: Adaptado de Trabajo de Fin de Titulación por Torres (2021)

Conclusiones

Las 3 diferentes tipos de mezclas en la que varían la cantidad de agua y CBA, dan resultados favorables aceptables como uso de mampostería.

Las probetas elaboradas con 50% de CBA curadas a los 28 días generaron la más alta resistencia 3.9 Mpa a compresión y 2 Mpa a flexión.

La proporción de CBA y agua puede ser determinante para la elaboración de BTC la adición de CBA no afectó la resistencia físico - mecánica de los BTC elaborados con tierra limosa y cemento. Este residuo de desecho puede incorporarse a dichos componentes. Sin embargo, se ha informado que la ceniza de bagazo se comporta mejor con contenidos de cemento más bajos en comparación con contenidos de cemento más altos.

Los valores medios observados en las pruebas de resistencia mecánica a la compresión de los BTC, con y sin CBA, fueron muy cercanos entre sí; aunque los valores de referencia fueron superiores en los primeros 14 días, no pueden considerarse estadísticamente diferentes cuando cumplen curado a los 28 días.

El uso de BTC reduce el costo de obra final que puede alcanzar un 30% y puede aportar una reducción del 50% de ladrillos; además de ser un proceso simple que no consume mucha energía de materiales ni humanos, existiendo abundante recurso en el sector.

Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios sobre el comportamiento de los BTC en relación a la adherencia de las partículas y el uso de fibras, para poder comparar las propiedades de los mismos.

Evaluar la CBA como material rico en sílice que puede contribuir a mejorar el rendimiento de BTC y valorizar sus detalles económicos en forma de ahorro en materia prima cuando se adopta en productos de estabilizar que puede ayudar a incorporar su utilización para estimular el crecimiento en la fabricación de materiales de construcción de bajo costo.

Se recomienda evaluar su comportamiento de intemperismo para investigar la durabilidad de los BTC, se sabe que los bloques de suelo estabilizados son menos duraderos. Por lo tanto, la durabilidad de los bloques estabilizados es un aspecto importante en el que debe concentrarse para aumentar la aceptabilidad de la comunidad.

Se recomienda evaluar las propiedades de conformidad térmica y aislamiento acústico.

Bibliografía

- Alavéz, R., Montes, P., Martínez, J., Altamirano, D. C., & Gochi, Y. (2012). The use of sugarcane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks. *Construction and Building Materials*, 34(1), 296-305. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.072>
- Ali, N., Zainal, N. A., Burhanudin, M. K., Samad, A. A., Mohamad, N., Shahidan, S., & Abdullah, S. R. (2016). Physical and mechanical properties of compressed earth brick (CEB) containing sugarcane bagasse ash. *MATEC Web of Conferences*, 47(2), 1-7. doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/20164701018>
- Bailón, E. I., Espinosa, R. I., & Acevedo, J. B. (2019). Bloque de suelo estabilizado en pequeño formato y tecnología de colocación en obra en vivienda de interés social. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 105-127. doi:<https://doi.org/10.14482/inde.37.1.624>
- Bock, C., & Ofori, A. N. (2016). Mechanical Properties of Sustainable Adobe Bricks Stabilized With Recycled Sugarcane Fiber Waste. *International Journal of Engineering Research and Application*, 6(9), 50-59.
- By, P., Bojórquez, I., Pérez, M. M., Flores, F., & Bojórquez, G. (2003). Construcción. *Ingeniería de construcción*, 18(2), 87-92.
- Cordeiro, G. C., Filho, R. D., & Fairbairn, E. M. (2010). Ultrafine sugar cane bagasse ash : high potential pozzolanic material for tropical countries. *IBRACON Structures and Materials*, 3(1), 50-67.
- Ganesan, K., Rajagopal, K., & Thangavel, K. (2007). Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites*. *Cement and Concrete Composites*, 29(6), 515-524. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.03.001>
- Hall, M. R., Najim, K. B., & Keikhaei, P. (2012). Soil stabilisation and earth construction: Materials, properties and techniques. *Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications*, 222-255. doi:<https://doi.org/10.1533/9780857096166.2.222>
- James, J., & Pandian, P. K. (2016). Valorisation of Sugarcane Bagasse Ash in the Manufacture of Lime-Stabilized Blocks. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 7-15. doi:<https://doi.org/10.1515/sjce-2016-0007>

- James, J., & Pandian, P. K. (2017). A Short Review on the Valorisation of Sugarcane Bagasse Ash in the Manufacture of Stabilized/Sintered Earth Blocks and Tiles. *Advances in Materials Science and Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1155/2017/1706893>
- Juárez, L. A., Caballero, T., & Morales, V. (2010). Ventajas del reforzamiento de muros de bloques de tierra compactados (BTC), como opción para el rescate de viviendas rurales. *Informes de La Construcción*, 62(518), 25-32. doi:<https://doi.org/10.3989/ic.08.000>
- Lima, S. A., Varum, H., Sales, A., & Neto, V. F. (2012). Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 829-837. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.127>
- Mangi, S. A., Jamaluddin, N., Wan, M. H., Abdullah, A. H., Abdul, A. S., Sohu, S., & Ali, N. (2017). Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 27(1). doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012001>
- MIDUVI. (2015). *Cargas (No Sísmicas). Nec.* Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CG.pdf>
- Morales, E. V., Villar, E., Frías, M., Santos, S. F., & Savastano, H. (2009). Effects of calcining conditions on the microstructure of sugar cane waste ashes. *Cement and Concrete Composites*, 3(1), 22-28. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.10.004>
- NTC 5324. (2008). Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. *ICONTEC*.
- Onchiri, R., James, K., Sabuni, B., & Busieney, C. (2014). se Of Sugarcane Bagasse Ash As A Partial Replacement For Cement In Stabilization Of Self-Interlocking Earth Blocks. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 5(10), 124-130.
- Sadeeq, J. A., Ochebo, J., Salahudeen, A. B., & Tijjani, S. T. (2015). Effect of bagasse ash on lime stabilized lateritic soil. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(2), 203-213.
- Salim, R. W., Ndambuki, J. M., & Adedokun, D. A. (2014). Improving the bearing strength of sandy loam soil compressed earth block bricks using Sugercane Bagasse Ash. *Sustainability (Switzerland)*, 3686-3696. doi:<https://doi.org/10.3390/su6063686>
- Saranya, M. K., Santhoshkumar, M., Sathish, S., Gopinath, S., & Parimelashwaran, P. (2016). Recycling of Bagasse Ash and Rice Husk Ash in the Production of Bricks.

International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics (IJETCSE), 21(4), 976-1353. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/e865/bbbee1f4fd34380786e7bd3bc67b5ed597e2.pdf>

Teixeira, S. R., Magalhães, R. S., Arenales, A., Souza, A. E., Romero, M., & Rincón, J. M. (2014). Valorization of sugarcane bagasse ash: Producing glass-ceramic materials. *Journal of Environmental Management*, 134(2), 15-19.

Une41410. (2008). Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques/Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. *Aenor*, 28, 15-27.

Vidal, D. V., Torres, J., & González, L. O. (2014). Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: Estudio preliminar. *MOMENTO - Revista de Física*, 1(4), 14-23.

Cid, J., Mazarrón, F. R., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de La Construcción*, 63(523), 159–169. <https://doi.org/10.3989/ic.10.011>

Proterra, R. E. D. I., & Proterra, R. I. (2015). *Técnicas de construcción con Tierra*.

Houben, H., & Guillaud, H. (1987). *Tratado de construcción con tierra*. Vol. 1.

Anexos

Anexos 1. Certificado de ensayos en laboratorio de "GEONCOS"



"GEOCONSTRUYE CIA. LTDA."
Geotecnia, - Consultoría & Construcciones

Tel: 072-540907
Cel: 0994974048

CERTIFICA:

Que el Sr. Walter Enrique Torres Abad, portador de la cédula de ciudadanía 1105702946 en calidad de estudiante de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) – Loja, ha realizado en el laboratorio "GEOCONS" los siguientes ensayos:

- Ensayo de resistencia a compresión
- Ensayo de resistencia a flexión

Las tareas realizadas fueron exclusivamente de carácter académico. De tal manera que puedo verificar en honor a la verdad, facultando al interesado en uso del presente documento en lo que ha bien tuviera.

Atentamente:

Ing. Ramiro Jiménez Vega

GERENTE GENERAL

RUC: 1103587653001



LOJA-ECUADOR A. 8 de diciembre, Tras la Clínica Nataly, Cel:0994974048. EDIFICIO GEOCNOS.

Oficina: 072-540907, SUCURSAL: Yantzaza, calle Zamora y calle Las Orquideas Correo:

geoconslaboratorio@gmail.com raherjive@gmail.com www.geocons.com.ec

Anexos 2. Informe Resultante de Ensayos a Compresión con Adiciones del 0.0 Kg, 0.25 Kg y 0.50 Kg de CBA

"GEOCONSTRUYE CIA. LTDA."

Geotecnia - Consultoría & Construcciones

PROYECTO DE TESIS	ANÁLISIS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE TIERRA COMPRESIDA (BTO) USANDO CENIZA DE BAGAJO DE CAÑA DE AZÚCAR (CBA) COMO ADICIÓN.
ESTUDIANTE	WALTER ENRIQUE TORRES ABAD
LABORATORIO	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROV. DE LOJA
	feb.-21

ENSAYO 1 (COMPRESIÓN)

Ensayo a compresión de especímenes de 295 x 140 x 95 mm de lado-UNE 41410 - 2008										
Ensayo a compresión 7 días										
Fecha de elaboración	Fecha de ruptura	Especimen	Dosificación				Peso húmedo	Peso seco	Resistencia Promedio (Mpa)	
			Cemento (Kg)	Tierra (Kg)	CBA (Kg)	Agua (Kg)				Compactación (psi)
Diciembre-20-2020	Diciembre-28-2020	BTC C1	1.05	7	0	1.3	2000	8.52 kg	6.8 kg	2.0
Diciembre-20-2020	Diciembre-28-2020	BTC C2	1.05	7	0.25	1.8	2000	8.63 kg	7.04 kg	2.3
Diciembre-20-2020	Diciembre-28-2020	BTC C3	1.05	7	0.5	2.2	2000	8.65 kg	7.2 kg	2.6
Ensayo a compresión 14 días										
Diciembre-15-2020	Diciembre-28-2020	BTC C1	1.05	7	0	1.3	2000	8.52 kg	6.8 kg	1.91
Diciembre-15-2020	Diciembre-28-2020	BTC C2	1.05	7	0.25	1.8	2000	8.63 kg	7.04 kg	2.4
Diciembre-15-2020	Diciembre-28-2020	BTC C3	1.05	7	0.5	2.2	2000	8.65 kg	7.2 kg	2.7
Ensayo a compresión 28 días										
Diciembre-01-2020	Diciembre-28-2020	BTC C1	1.05	7	0	1.3	2000	8.52 kg	6.8 kg	3.9
Diciembre-01-2020	Diciembre-28-2020	BTC C2	1.05	7	0.25	1.8	2000	8.63 kg	7.04 kg	3.3
Diciembre-01-2020	Diciembre-28-2020	BTC C3	1.05	7	0.5	2.2	2000	8.65 kg	7.2 kg	3.9

OBSERVACIONES: las rupturas corresponden a 3 muestras por cada ensayo



ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

Anexos 3. Informe Comparaciones de Ensayos a Compresión con Adiciones del 0.0 Kg, 0.25 Kg y 0.50 Kg de CBA.

"GEOCONSTRUYE CIA. LTDA."
Geotecnia - Consultoría & Construcciones

PROYECTO DE TESIS	ANÁLISIS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE TIERRA COMPRESIDA (BTO) USANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (CBA) COMO ADICIÓN.		
ESTUDIANTE	WALTER ENRIQUE TORRES ABAD		
LABORATORIO	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROV. DE LOJA	FECHA	feb-21

ENSAYO 1 (COMPRESIÓN)

Muestras	COMPARACIÓN RESISTENCIAS COMPRESIÓN (MPa)			
	CBA (Kg)	7 días (Mpa)	14 días (Mpa)	28 días (Mpa)
BTC C1	0	2	1.91	3.9
BTC C2	0.25	2.3	2.4	3.3
BTC C3	0.5	2.6	2.7	3.9



[Handwritten Signature]

ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
 Geotecnia Consultoría & Construcción
 Telf: 41017744730

Anexos 4. Informe Resultante de Ensayos a Flexión con Adiciones del 0.0 Kg, 0.25 Kg y 0.50 Kg de CBA

"GEOCONSTRUYE CIA. LTDA."

Geotecnia - Consultoría & Construcciones

PROYECTO DE TESIS	ANÁLISIS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTO) USANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (CBA) COMO ADICIÓN.
ESTUDIANTE	WALTER ENRIQUE TORRES ABAD
LABORATORIO	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROV. DE LOJA
	feb.-21

ENSAYO 2 (FLEXIÓN)

Ensayo a flexión de especímenes de 295 x 140 x 95 mm de lado-UNE 41410 - 2008														
Fecha de elaboración	Fecha de ruptura	Especimen	Dosificación				Cemento (Kg)	Tierra (Kg)	CBA (Kg)	Agua (Kg)	Compactación (psi)	Peso húmedo	Peso seco	Resistencia Promedio (Mpsa)
			CBA (Kg)	Tierra (Kg)	CBA (Kg)	Agua (Kg)								
Ensayo a flexión 7 días														
Diciembre-20-2020	Diciembre-28-2020	BTC C1	0	7	0	1.05	7	0	1.3	2000	8.52 kg	6.8 kg	0.7	
Diciembre-20-2020	Diciembre-28-2020	BTC C2	0.25	7	0.25	1.05	7	0.25	1.8	2000	8.63 kg	7.04 kg	0.8	
Diciembre-20-2020	Diciembre-28-2020	BTC C3	0.5	7	0.5	1.05	7	0.5	2.2	2000	8.65 kg	7.2 kg	1.3	
Ensayo a flexión 14 días														
Diciembre-15-2020	Diciembre-28-2020	BTC C1	0	7	0	1.05	7	0	1.3	2000	8.52 kg	6.8 kg	0.9	
Diciembre-15-2020	Diciembre-28-2020	BTC C2	0.25	7	0.25	1.05	7	0.25	1.8	2000	8.63 kg	7.04 kg	1.2	
Diciembre-15-2020	Diciembre-28-2020	BTC C3	0.5	7	0.5	1.05	7	0.5	2.2	2000	8.65 kg	7.2 kg	1.3	
Ensayo a flexión 28 días														
Diciembre-01-2020	Diciembre-28-2020	BTC C1	0	7	0	1.05	7	0	1.3	2000	8.52 kg	6.8 kg	1.2	
Diciembre-01-2020	Diciembre-28-2020	BTC C2	0.25	7	0.25	1.05	7	0.25	1.8	2000	8.63 kg	7.04 kg	1.2	
Diciembre-01-2020	Diciembre-28-2020	BTC C3	0.5	7	0.5	1.05	7	0.5	2.2	2000	8.65 kg	7.2 kg	2	

OBSERVACIONES: Las rupturas corresponden a 3 muestras por cada ensayo


ING. RAMIRO JIMÉNEZ
 RESPONSABLE GEOTÉCNICO

GEOCONSTRUYE CIA.
 Geotecnia Consultoría & Construcciones
 P.O.C. 119177-41000

Anexos 5. Informe Comparaciones de Ensayos a Flexión con Adiciones del 0.0 Kg, 0.25 Kg y 0.50 Kg de CBA

"GEOCONSTRUYE CIA. LTDA."
Ingeniería - Consultoría & Construcciones

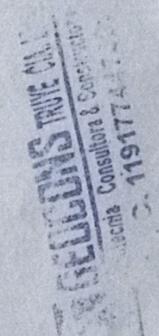
PROYECTO DE TESIS	ANÁLISIS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE BLOQUES DE TIERRA COMPRESIDA (BTO) Y NUNDO CENIZA DE BAGAJO DE CAÑA DE AZÚCAR (CBA) COMO ADICIÓN.
ESTUDIANTE	WALTER ENRIQUE TORRES ABAD
LABORATORIO	ING. RAMIRO JIMÉNEZ
UBICACIÓN	CANTÓN LOJA, PROV. DE LOJA
	FECHA feb.-21

ENSAYO 2 (FLEXIÓN)

Muestras	COMPARACION RESISTENCIAS FLEXIÓN (MPa)			
	CBA (Kg)	7 días (Mpa)	14 días (Mpa)	28 días (Mpa)
BTC C1	0.00	0.7	0.9	1.2
BTC C2	0.25	0.8	1.2	1.2
BTC C3	0.50	1.3	1.3	2



(Handwritten Signature)
ING. RAMIRO JIMÉNEZ
 RESPONSABLE GEOTÉCNICO



Anexos 6. Informe de caracterización y clasificación de la tierra

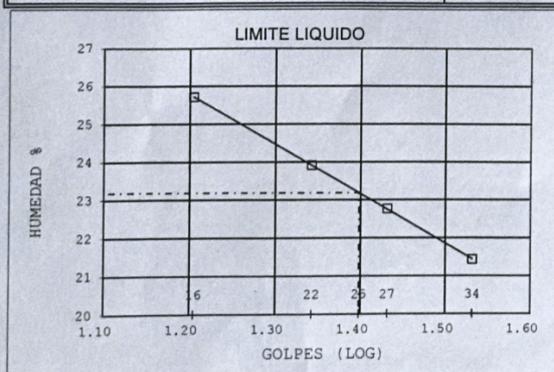


ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

ASTM D2487-AASHTO 3282 - 2487

PROYECTO : "BLOQUES DE TIERRA COMPACTADO"						
OBRA : LABORATORIO DE SUELOS						
UBICACIÓN : CATAMAYO						
OPERADOR : O.V			MUESTRA : STOCK			
FECHA : OCTUBRE 2020			PROFUNDIDAD : -			
	GOLPES	W HM. (gr)	W SECO (gr)	W CAPS (gr)	w %	RESULTADO%
1.- CONTENIDO HUMEDAD		203.78 182.37	196.51 176.08	25.32 25.06	4.25 4.17	4.21
2.- LIM. LIQUIDO	34 27 22 16	35.00 36.40 42.10 39.10	33.20 34.49 39.35 36.40	24.80 26.10 27.85 25.90	21.43 22.77 23.91 25.71	23.19
3.- LIMITE PLASTICO		33.03 32.74	32.20 31.90	27.77 27.40	18.74 18.67	18.70
4.- GRANULOMETRIA	5.- CLASIFICACION.-					
PESO INICIAL DE CALCULO:	353.62 gr					
TAMIZ	ESO R (gr)	% R.A.	% PASA	GRAVA= 3.71 %		
1 1/2"	0.00	0.00	100	ARENA= 50.60 %		
1"	0.00	0.00	100	FINOS= 45.69 %		
3/4"	0.00	0.00	100	LL = 23.00 %		
1/2"	0.00	0.00	100	LP = 19.00 %		
3/8"	5.70	1.68	98	IP = 4.00 %		
No. 4	6.90	3.71	96	cu 63.02		
No. 10	6.00	5.48	95	cc 0.70		
No. 40	35.40	15.91	84	CLASIFICACION:		
No. 200	130.30	54.31	46	SUCS = SC-SM		
COLOR : CAFÉ	Arena limosa y arcillosa					
	AASHTO= A-4 IG 0					
	Suelos limosos					
	Regular a Pobre					



Ing. Ovidio Castillo J.
 LABORATORIO

Anexos 7. Informe de caracterización y clasificación de la CBA



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA, MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE BENEFICIO DE MINERALES SALA DE GEOQUÍMICA ANALÍTICA

Asunto: Informe de Análisis Químico
Método: Fluorescencia de Rayos X.
Solicitante: Walter Torres Abad.
Fecha de solicitud: 02 de diciembre de 2020.
Fecha de entrega: 03 de diciembre de 2020.

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos del análisis químico realizado por Fluorescencia de Rayos X de las muestras correspondientes al **Exp. No. 056-2020**, empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil S1 Turbo marca Bruker.

ID MUESTRA	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	CaO (%)
WTA-0	7,81	28,9	4,23	1,07	43,48
	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)	K ₂ O (%)	
	4,46	0,3	0,29	8,86	

Estos resultados corresponden a la composición química de la expresada en elementos mayoritarios (>1%), minoritarios (<1 a 0,1%) y trazas (ppm).

ND: No detectó.

Observaciones: El Na₂O y Carbono no es analizado por FRX, pero la muestra los puede contener.

Universidad Técnica Particular de Loja (U.T.P.L) y Laboratorio de Beneficio de Minerales se deslindan de toda responsabilidad civil, laboral y penal, derivado del protocolo de muestreo de las alícuotas ingresadas al laboratorio que puedan alterar los resultados del análisis, puesto que en este caso no fueron tomadas por un representante de la U.T.P.L.

Ing. Erika Calderón M.
Responsable de la Sala de Geoquímica Analítica del
Laboratorio de Beneficio de Minerales