

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MURETES
ELABORADOS CON BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC), COMO
ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA SOSTENIBLE EN EL
MUNICIPIO DE PEREIRA

INVESTIGADORA PRINCIPAL:
GLORIA MILENA MOLINA VINASCO MSC
INGENIERA CIVIL

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN
SEBASTIÁN GORDON MONTOYA
DANIELA VILLADA CORRALES

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA
2017

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MURETES
ELABORADOS CON BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC), COMO
ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA SOSTENIBLE EN EL
MUNICIPIO DE PEREIRA

INVESTIGADORA PRINCIPAL:
GLORIA MILENA MOLINA VINASCO MSC
INGENIERA CIVIL

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN
SEBASTIÁN GORDON MONTOYA
DANIELA VILLADA CORRALES

Proyecto para optar el título de Ingeniero civil

Línea de investigación
SUELOS Y ESTRUCTURAS

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA
2017

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	11
3.	JUSTIFICACIÓN	13
4.	OBJETIVOS	14
4.1.	OBJETIVO GENERAL	14
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
5.	MARCO REFERENCIAL.....	15
5.1.	MARCO TEÓRICO	15
5.1.1.	Construcción con tierra.	15
5.1.3.	Resistencia a la compresión de los suelos.	17
5.1.4.	Compactación.	18
5.1.5.	Suelos derivados de cenizas volcánicas.	19
5.2.	MARCO CONCEPTUAL	20
5.2.1.	Adobes.....	20
5.2.2.	Materiales.....	21
5.2.2.1.	Concreto.	21
5.2.2.2.	Cenizas Volcánicas.....	21
5.2.2.3.	Cal hidratada (hidróxido de calcio).....	22
5.2.2.4.	Escombros.	23
5.2.3.	Cinva ram.....	23
5.2.3.1.	Ventajas.	23
5.2.3.2.	Desventajas.	24
5.3.	MARCO DE ANTECEDENTES.....	24
5.4.	MARCO LEGAL	29
6.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	32
6.1.	MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO	32
6.2.	FASES Y RESULTADOS.....	34
6.2.1.	FASE 1. Extracción de Materiales.....	34
6.2.2.	FASE 2. Control de los Materiales.	35
6.2.3.	FASE 3. Determinación del porcentaje de cal.....	36
6.2.4.	FASE 4. Determinación del porcentaje de arcilla.	37

6.2.5.	FASE 5. Determinación del porcentaje de escombro de concreto.....	38
6.2.6.	FASE 6. Análisis de los Resultados.....	41
7.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	42
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
8.1.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	51
8.2.	RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS DEL SUELO CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE CAL	53
8.3.	RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS DE SUELO CON ADICION DE CAL Y DIFERENTES DOSIFICACIONES DE ARCILLA	54
8.4.	RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA	54
8.5.	RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS MURETES ELABORADOS A PARTIR DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA	57
9.	CONCLUSIONES	58
10.	RECOMENDACIONES	59
11.	BIBLIOGRAFÍA	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco Legal.	29
Tabla 2. Matriz de diseño metodológico.	33
Tabla 3. Control de materiales.	35
Tabla 4. Resultado de ensayos aplicados al suelo.	42
Tabla 5. Resultado de ensayos aplicados a la arcilla.	43
Tabla 6. Resultado de ensayos aplicados al escombros de concreto.	44
Tabla 7. Resultados de la fase 3.....	44
Tabla 8. Resultados de la fase 4.....	47
Tabla 9. Resultados de la fase 5, bloques individuales.	50
Tabla 10. Resultados de la fase 5, muretes.....	50

LISTA DE IMÁGENES

Figura 1. Probeta de suelo-cal	37
Figura 2. Elaboración del murete.	38
Figura 3. Maquina bloquera Cinva Ram.	39
Figura 4. Llenado de molde.	40
Figura 5. Extracción del bloque.....	40
Figura 6. Elaboración del murete	41

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Esfuerzo -vs- deformación (tratamiento: 4,0% de cal).....	45
Grafica 2. Esfuerzo -vs- deformación (tratamiento: 4,5% de cal).....	46
Grafica 3. esfuerzo -vs- deformación (tratamiento: 4,5% de cal y 10% de arcilla).	48
Grafica 4. esfuerzo -vs- deformación (tratamiento: 4,5% de cal y 20% de arcilla).	49
Grafica 5. Ubicación del limo de alta compresibilidad en la carta de plasticidad. ..	51
Grafica 6. Ubicación arcilla de baja compresibilidad en la carta de plasticidad.	52
Grafica 7. Esfuerzo a compresión -vs- porcentaje de escombro.....	55

RESUMEN

Este estudio está dedicado a los bloques de tierra comprimida (BTC) debido a que se ha encontrado en este un material desconocido de propiedades sostenibles y considerables beneficios, tales como la abundancia, su ubicación, la disponibilidad, la calidad reutilizable y el bajo impacto ambiental es por ello que se inició el proyecto con la intención de evaluar las propiedades mecánicas de BTC como también de muretes elaborados con este mismo como alternativa de construcción de vivienda sostenible en el municipio de Pereira ya que esto optimizaría mejor los procesos constructivos y reduciría los costos de construcciones de este tipo.¹

Para la realización de estos se extrajo suelo derivado de cenizas volcánicas² perteneciente a la región de estudio, en la siguiente fase fue necesario por medio de ensayos la determinación de la dosificación ideal de cal, arcilla y escombros de concreto³ para proseguir con su elaboración y en la última fase elaborar un análisis de sus características mecánicas. De los beneficios obtenidos con el proceso de fabricación de los BTC además de ser rápido y eficiente, no genera emisión de gases contaminantes como en el caso del ladrillo, por el contrario, además tienen un impacto menor económicamente ya que son fabricados con suelo, el cual es un recurso abundante y que en las obras de construcción muchas veces es desperdiciado.⁴ Hoy en día se han mejorado las técnicas de construcción para trabajar con suelo-cal mediante el uso de maquinaria e implementando diferentes tipos de herramientas mecánicas para hacer bloques de tierra comprimida, lo que facilita el trabajo y aumenta su rendimiento.⁵

Con el presente trabajo se pretende tras la ejecución de algunas pruebas y ensayos que los BTC sean reconocidos como un material de construcción, y sean empleados dentro de los sistemas constructivos actuales, y con ello formular un protocolo semi estandarizado para la fabricación de estos ya que actualmente la normativa al respecto está muy dispersa, y en la mayoría de países desarrollados surgen numerosos problemas técnicos y legales para llevar a cabo una construcción con este tipo de material.

¹ GALÍNDEZ, Fernando. Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento.2001. Universidad Católica de Salta. Facultad de Arquitectura. p. 3.

² BORGES, Obede Borges (2011). Técnicas de construcción con tierra-Identificación y selección de suelos. Brasil. pag. 12.

³ VÁSQUEZ, Alejandro; BOTERO, Luis Fernando; CARVAJAL, David. Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. ing. cienc., vol. 11, no. 21, pp. 197–220, enero-junio. 2015. P. 197.

⁴ ARTEAGA, Karen Tatiana; MEDINA, Oscar Humberto; GUTIERREZ, Oscar Javier. Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Revista Facultad de Ingeniería, UPTC, Julio-Diciembre No. 31, pp.55-68. p. 55.de 2011, Vol. 20,

⁵ NEVES, Celia M. Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra - prácticas de campo (2005). Brasil. p. 6.

Palabras clave: BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA, VIVIENDA SOSTENIBLE, CAL, ARCILLA, ESCOMBROS DE CONCRETO.

ABSTRACT

In this study dedicated to compressed earth blocks (BTC) because an unknown matter of sustainable properties and considerable benefits count as abundance, location, reusable quality and low environmental impact. That is why the project was initiated With the intention of evaluating the mechanical properties of BTC as well as of walls constructed with this same one as alternative of the construction of the sustainable house in the municipality of Pereira and that optimizes the best the constructive processes and reduces the costs Of the constructions of this type . For the realization of these, the soil derived from volcanic ash pertaining to the study region was extracted, in the following phase it was necessary by means of tests the determination of the ideal dosage of lime, clay and concrete debris to continue with its elaboration and In the last phase elaborate an analysis of its mechanical characteristics. Of the benefits obtained with the manufacturing process of the BTC besides being fast and efficient, does not generate the emission of pollutant gases as in the case of brick, on the contrary, also have a lower impact economically and that are made with soil, Which is an abundant resource and that in the construction works is often desperate. Nowadays, construction techniques have been improved to work with soil and lime in the use of machinery and to implement different types of mechanical tools to make blocks of compressed earth, which facilitates the work and increases its performance.

With the present work it is intended after the execution of some tests and tests that the BTCs are recognized as a construction material, and are used within the current construction systems, and with a form a semi standardized protocol for the manufacture of these since At present, the regulations in this respect are very dispersed, and in most of the developed countries on the technical and legal problems to carry out a construction with this type of material.

Key words: BLOCKS OF COMPRESSED EARTH, SUSTAINABLE HOUSING, LIME, CLAY, CONCRETE DEBRIS.

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente documento, se pretenden evaluar las propiedades mecánicas de muretes elaborados a partir de bloques de tierra comprimida como alternativa de construcción de vivienda sostenible en el municipio de Pereira.

Los bloques de tierra comprimida utilizados para la elaboración de los muretes, se fabrican con una mezcla de suelo derivado de cenizas volcánicas, cal, escombros de concreto y arcilla con el fin de mejorar la resistencia del suelo a la compresión inconfiada y de esta manera convertirlo en un material viable para la construcción de muros divisorios o no estructurales en viviendas de uno o dos pisos.

Para determinar la dosificación de cada uno de los materiales que componen los bloques, se realizan diferentes ensayos de laboratorio que permiten determinar las características del suelo y de los demás materiales, además definir las condiciones necesarias para la realización de la mezcla como la humedad óptima. Posteriormente, se realizan probetas con diferentes dosificaciones de cal, arcilla y escombros de concreto, con el objetivo de elegir la dosificación que arrojará resultados de resistencia más altos y utilizarla para elaborar los muretes.

Una vez fallados los BTC, se concluyó que los porcentajes con los que se obtuvo mayor resistencia a la compresión fueron cal 4.5%, arcilla 20% y escombros de concreto 10%. Estos bloques cumplieron con la resistencia mínima exigida por la norma que controla las condiciones para la elaboración de bloques de suelo-cemento en Colombia.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el municipio de Pereira, las viviendas se han caracterizado por estar construidas generalmente con mampostería común, tal como adobe, tapia, y en la actualidad ladrillo macizo o perforado, ignorando el impacto ambiental que éstos generan en su elaboración. “Los actuales sistemas de construcción afectan directamente y de manera masiva a la naturaleza a través de elevados niveles de explotación de los recursos naturales, contaminación de la atmosfera, generación de residuos y contaminación de los recursos por la acción antrópica.”⁶

Además de los problemas ecológicos derivados de la fabricación de los materiales anteriormente mencionados, la falta de cultura de reutilización de elementos constructivos producto de demoliciones, tales como el concreto, genera otros impactos negativos y a gran escala. Esto hace que las escombreras crezcan cada vez más, ocupando un espacio mayor y generando contaminación por emisión de partículas nocivas para la salud.

Hoy en día, la ingeniería tradicional en Colombia se desarrolla de manera poco sostenible en donde “los residuos de construcción y demolición solo se ven como desechos, sabiendo que podrían ser utilizados como agregado sustituyendo la totalidad del normalmente empleado, dándole un ciclo continuo al usar y aprovechar completamente el ciclo de vida de los materiales de construcción Reciclaje-Fabricación-Usos-Reciclaje.”⁷

En Pereira y en Colombia en general, no se ha avanzado en el conocimiento y estudios con respecto a materiales alternativos tales como los bloques de tierra comprimida (BTC), desconociendo sus características y optando siempre por los mismos sistemas constructivos.⁸ Esta situación ha derivado en una carencia de normativa y legalización que permita el uso de las técnicas de construcción para este material. A pesar de que el país cuenta con la norma NTC 5324, ésta es muy imprecisa, enmarcando los BTC en un contexto muy generalizado, sin tener en cuenta que en cada región se presentan condiciones diferentes de suelo, lo cual hace variar las propiedades de la tierra como material de construcción.⁹

⁶ GALÍNDEZ, Fernando. Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento.2001. Universidad Católica de Salta. Facultad de Arquitectura. p. 3.

⁷ VÁSQUEZ, Alejandro; BOTERO, Luis Fernando; CARVAJAL, David. Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. ing. cienc. 2015. Vol. 11. P. 197.

⁸ ARTEAGA, Karen Tatiana; MEDINA, Oscar Humberto; GUTIERREZ, Oscar Javier. Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Revista Facultad de Ingeniería, UPTC. 2011. Vol. 20. P. 55.

⁹ MAZARRÓN; CAÑAS. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Informes de la Construcción. 2011. Vol. 63. p.1.

La presente investigación busca entonces determinar cuáles son las condiciones de resistencia óptimas para la elaboración de muretes con distintas dosificaciones de BTC.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la mayoría de materiales utilizados para construcción, generan impacto ambiental. Por ejemplo, la extracción de agregados, genera modificaciones en los cauces de los ríos, contaminando sus cabeceras y arroyos y erosionando el suelo a su alrededor. Otros casos son el ladrillo y el cemento, los cuales emiten gases tóxicos durante sus procesos de fabricación. Estos gases contaminan el aire y son perjudiciales para la salud.

El impacto que genera la construcción en el medio ambiente hace que la humanidad busque alternativas para aprovechar de forma adecuada los recursos que ofrece la naturaleza, aún más si se consideran las actuales proporciones de contaminación. A través de la construcción con tierra se disminuye este impacto, dado que se evita la alteración de los ecosistemas.¹⁰

Los bloques de tierra comprimida BTC, por el contrario, tienen un impacto menor, ya que son fabricados con suelo, el cual es un recurso abundante y que en las obras de construcción muchas veces es desperdiciado, lo que significa que los bloques también contribuyen a la economía, siendo fabricados con un material producto de cortes que, en caso de no ser utilizado, termina en botaderos. Por otro lado, éstos no generan contaminación significativa al ser desechados, ya que pueden ser reintegrados a la naturaleza.

El proceso de fabricación de los BTC además de ser rápido y eficiente, no genera emisión de gases contaminantes como en el caso del ladrillo o el cemento anteriormente mencionado, ya que éstos solo requieren ser mezclados y comprimidos en sus moldes y secados al aire pudiendo ser fabricados in situ y ahorrando de esta manera costos de transporte tanto del material de construcción hacia la obra como del suelo sobrante hacia el botadero.

¹⁰ ARTEAGA, Karen Tatiana; MEDINA, Oscar Humberto; GUTIERREZ, Oscar Javier. Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Revista Facultad de Ingeniería, UPTC. 2011. Vol. 20, No. 31. P. 55.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Evaluar las propiedades mecánicas de muretes no estructurales elaborados con BTC, como alternativa de construcción de vivienda sostenible en el municipio de Pereira.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Comparar la resistencia a la compresión de probetas elaboradas con suelo-cal y suelo-cal-arcilla con respecto a la norma I.N.V. E-152.
- ✓ Determinar el porcentaje óptimo de cal, arcilla y concreto reciclado para la obtención de BTC con las mejores condiciones de resistencia.
- ✓ Formular un protocolo semi estandarizado para la fabricación de BTC y su aprovechamiento en vivienda sustentable.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO TEÓRICO

5.1.1. Construcción con tierra.

La humanidad, ha basado su subsistencia en lo que le ofrece el suelo. Éste le ofrece la capacidad de cultivar sus alimentos y asentarse para a partir de allí construir refugio y protegerse de la intemperie. Los primeros refugios del hombre fueron construidos también con materiales derivados de las rocas, utilizando cuevas naturales y evolucionando en muros artificiales con bloques de roca o suelo.¹¹

“Cuando el hombre empezó a convertir los recursos naturales en los materiales de construcción, el adobe fue el primero de ellos, siendo obtenido de la mezcla plástica del suelo y del agua después de ser secado de manera natural (al sol no muy fuerte o a la sombra), con lo que se producían bloques rígidos para la construcción de los muros, igual que como se hacía con la piedra.”¹²

La tierra es un material abundante, se encuentra por todos lados en diferentes formas; la crisis ambiental que se vive en el mundo ha aumentado la utilización de este recurso en diferentes actividades, ya que es reciclable, de bajo costo y que se puede adaptar a condiciones climáticas y de intemperismo. Según para lo que se quiera utilizar el suelo, existen diferentes materiales que pueden ser agregados a éste para mejorar sus condiciones y características y así sacar el máximo provecho de este recurso. “El suelo ideal para la construcción es aquel que tenga bajo contenido de material orgánico y de arcilla expansiva, ya que con la absorción y secado del agua la arcilla expansiva altera su volumen y no lo recupera.”¹³ Sin embargo debe tener suficiente cantidad de material cohesivo el cual tienda a mejorar sus prestaciones, tanto física como mecánicamente.

“Los suelos apropiados a la construcción generalmente están ubicados en el subsuelo, también llamado de horizonte B, libres de materia orgánica. En las zonas semiáridas y áridas, es posible encontrar suelos adecuados en la superficie, después de eliminar piedras, raíces y todo material orgánico presente.”¹⁴

¹¹ BORGES, Obede Borges (2011). Técnicas de construcción con tierra-Identificación y selección de suelos. Brasil. 2011. Pag. 12.

¹² *Ibíd.* Pag. 12.

¹³ ARTEAGA, Karen Tatiana; MEDINA, Oscar Humberto; GUTIERREZ, Oscar Javier. Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Revista Facultad de Ingeniería, UPTC. 2011. Vol. 20, No. 31. P. 57

¹⁴ NEVES, Celia M. Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra - prácticas de campo. Brasil. 2005. P. 6.

5.1.2. Bloques de tierra comprimida (BTC).

Los bloques de tierra comprimida (BTC), son un tipo de material constructivo que tiene como materia prima el suelo. Éste es el elemento de la albañilería hecho con tierra (suelo) compactada en el molde por compresión o prensado, seguido por el desmolde inmediato. Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, puede utilizarse la estabilización granulométrica, que consiste en la mezcla de proporciones de diferentes tierras y la estabilización química, en que se agrega un aditivo químico a la tierra, generalmente aglomerante tipo cemento o cal.¹⁵

Los bloques presentan diversas características según su elaboración, ya que la máquina facilita el empleo de moldes; pueden ser macizos o perforados, lo cual posibilita su refuerzo; debido a su fácil moldeo, se pueden manejar curvaturas, para ser utilizados estructural y arquitectónicamente. Posteriormente el bloque de tierra comprimida sea extraído del molde este debe ser trasladado para el curado y secado, proceso en el que puede durar de dos días a una semana, dependiendo del contenido de humedad que presente el bloque después de la compactación.¹⁶ En el caso de la investigación, los bloques curaron durante ocho días con el fin de mantener las características deseadas.

El BTC puede ser usado en cualquier tipo de construcción substituyendo los bloques cerámicos o de concreto convencionales, sea en albañilería para cerramiento o mampostería portante, siempre que se observen las capacidades resistentes establecidas en el proyecto. Las paredes tanto pueden estar con el mampuesto a la vista (cuando estén protegidas de la lluvia), como cubiertas, pudiendo recibir revestimiento de mortero, diversos tipos de pintura o revestimiento cerámico. Además, presenta otras ventajas, tales como:

- ✓ Fácil de fabricar.
- ✓ Mantiene la regularidad de las dimensiones.
- ✓ Posibilidad de control eficiente de la resistencia a la compresión y otros parámetros.¹⁷

¹⁵ NEVES, Celia; MILANI, Ana Paula. Técnicas de construcción con tierra. Brasil. 2011. P. 35.

¹⁶ *Ibíd.* P. 35.

¹⁷ *Ibíd.* P. 35.

5.1.3. Resistencia a la compresión de los suelos.

Capacidad del material para resistir a las fuerzas que intentan comprimirlo o apretarlo. El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección. En general, cuando se somete un material a un conjunto de fuerzas se produce tanto flexión como cizallamiento o torsión, todos estos esfuerzos conllevan la aparición de tensiones tanto de tracción como de compresión.¹⁸

En un prisma el esfuerzo de compresión puede caracterizarse más simplemente como la fuerza que actúa sobre el material de dicho prisma, a través de una sección transversal al eje baricéntrico, lo que tiene el efecto de acortar la pieza en la dirección de ese eje.¹⁹

Para determinar la resistencia a la compresión de los BTC fabricados en esta investigación, se realizó el ensayo de compresión no confinada, también conocido con el nombre de ensayo de compresión simple o ensayo de compresión uniaxial, es muy importante en Mecánica de Suelos, ya que permite obtener un valor de carga última del suelo, el cual, como se verá más adelante se relaciona con la resistencia al corte del suelo y entrega un valor de carga que puede utilizarse en proyectos que no requieran de un valor más preciso, ya que entrega un resultado conservador. Este ensayo puede definirse en teoría como un caso particular del ensayo triaxial. Es importante comprender el comportamiento de los suelos sometidos a cargas, ya que es en ellos o sobre ellos que se van a fundar las estructuras, ya sean puentes, edificios o carreteras, que requieren de una base firme, o más aún que pueden aprovechar las resistencias del suelo en beneficio de su propia capacidad y estabilidad, siendo el estudio y la experimentación las herramientas para conseguirlo, y finalmente poder predecir, con una cierta aproximación, el comportamiento ante las cargas de estas estructuras. Debido a la compleja y variable naturaleza de los suelos, en especial en lo referido a la resistencia al esfuerzo cortante, existen muchos métodos de ensayo para evaluar sus características.²⁰

¹⁸ CABALLERO, Magdaleno, SANTOS, Silva y MONTES, José. Resistencia Mecánica del Adobe Compactado Incrementada por Bagazo de Agave. 2010 [En línea] Disponible en <http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2010/A3/A3_221.pdf> [Citado el: 03 de noviembre de 2017.] P. 2.

¹⁹ *Ibíd.* P.2.

²⁰ UNITEC. Investigación Sobre La Resistencia Al Corte De Suelos. [En línea] Disponible en <<https://mecanicadesuelos1unitec.wordpress.com/ensayo-compresion-simple/>> [Citado el: 03 de noviembre de 2017.] P.1.

5.1.4. Compactación.

Es un proceso de la disminución o minimización de espacios vacíos por medio de la acción mecánica de los equipos de compactación. Durante este proceso se pueden mejorar las características del suelo, con un aumento simultáneo de densidad.²¹ Por lo que con la compactación de un suelo se busca:

Mayor capacidad de carga: al compactar un suelo se obtiene mayor densidad del mismo, debido a lo anterior se obtiene una mejor distribución de fuerzas que actúan directamente sobre el suelo como consecuencia de la carga que transmite la carga, lo que nos da una mayor capacidad de carga.²²

Mayor estabilidad: al construirse alguna edificación sobre un suelo sin compactar o compactado en forma desigual, el suelo por la acción de la carga, se asienta en forma desigual, lo cual ocasionara grietas en la estructura, y en un momento dado la inestabilidad de la construcción.²³

Disminución de la contracción del suelo: la permeabilidad de un suelo depende de la granulometría del suelo y de su densidad, un suelo bien compactado impide el paso del agua, evitando así deformaciones en el suelo, modificando las características de diseño, como es el caso de los baches.²⁴

Disminución de asentamiento: cuando un suelo está mal compactado, en esos espacios se puede llenar de agua, el cual con bajas temperaturas se congela, y en los cambios de estado puede producir agrietamiento en la estructura de los pavimentos, bases de estructuras, muros etc.²⁵

Entre tanto Ingeniería del Terreno Eduardo Alonso en su artículo “suelos compactados en la teoría y en la práctica”, aborda el comportamiento de los suelos compactados atendiendo especialmente a su comportamiento volumétrico frente a cambios de humedad, y define las bases teóricas haciendo referencia a Proctor:

“... Una vez definido un procedimiento de compactación y una energía del mismo, se comprueba que la densidad alcanzada por el suelo varía con la humedad, de manera que se encuentra, en general, una densidad máxima u óptima para una humedad inferior

²¹ REVISTA ARQUIS. Estabilización de suelos. 2012. [En línea] Disponible en <<http://www.arqhys.com/articulos/suelos-estabilizacion.html>> [Citado el: 13 de mayo de 2017.]

²² *Ibíd.* P. 1.

²³ *Ibíd.* P. 1.

²⁴ *Ibíd.* P. 1.

²⁵ *Ibid.* P. 1.

a la de saturación, humedad que suele corresponder a grados de saturación de 0.8-0.9.”²⁶

El mismo autor hace referencia al estado de compactación y lo define por dos variables de estado: la densidad seca, γ_d , y la humedad, w . En la práctica, el resto de propiedades de interés del suelo compactado (rigidez, respuesta frente a cambios de humedad, resistencia al esfuerzo cortante) quedarían esencialmente determinadas por los dos valores (γ_d , w) que se consiguen durante la compactación.²⁷

5.1.5. Suelos derivados de cenizas volcánicas.

En Pereira, el tipo de suelo predominante son las cenizas volcánicas. Los suelos residuales evolucionan a partir de la meteorización in situ, y normalmente, se caracterizan por una granulometría más fina próxima a la superficie donde la alteración ha sido más intensa. A pesar de esta generalización, existen suelos residuales que reflejan mayor alteración en profundidad; este es frecuentemente el caso de los suelos derivados de cenizas volcánicas. La caracterización adecuada de suelos derivados de cenizas volcánicas requiere de métodos diferentes a los convencionales (por ejemplo, USCS, ASTM). Criterios de diseño y construcción de estructuras geotécnicas, conocidos extensamente, resultan inaplicables en presencia de estos materiales.²⁸

Las técnicas de experimentación utilizadas para determinar las propiedades de estos suelos pueden conducir a resultados que difieren significativamente de las propiedades in situ, debido, entre otras cosas, a que estos suelos presentan una alta sensibilidad a la fabricación de la muestra y al método seguido durante el ensayo. Problemas de tipo geotécnico comúnmente asociados a estos suelos incluyen inestabilidad de taludes, alta sensibilidad, agrietamiento y problemas durante su manejo como materiales de construcción (excesiva humedad, consistencia muy blanda).²⁹

²⁶ ALONSO, Eduardo. Suelos compactados en la teoría y en la práctica. Sf. [En línea] Disponible en <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573409891/SuelosCompTeoPrat.pdf>> [Citado el: 25 de octubre de 2017.] P. 1.

²⁷ *Ibíd.* P. 1.

²⁸ LIZCANO; HERRERA; SANTAMARINA. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. 2016. [En línea] Disponible en <<http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/116/115>> [Citado el: 27 de octubre de 2017.] P. 1.

²⁹ *Ibíd.* P. 1.

Una parte importante del territorio colombiano, localizada principalmente en las cercanías de los volcanes, está cubierta con depósitos de suelos de cenizas volcánicas.³⁰

5.1.6. Cohesión.

La cohesión es la máxima resistencia del suelo a la tensión. Resulta de la compleja interacción de muchos factores como la adherencia coloidal de la superficie de las partículas, la tensión capilar de las películas de agua, la atracción electrostática de las superficies cargadas, las condiciones de drenaje y el historial de esfuerzos. Solo existe una verdadera cohesión en el caso de las arcillas que tienen contacto de canto con cara entre sus partículas. Los suelos no plásticos de grano fino pueden exhibir una cohesión aparente cuando están en condiciones de saturación parcial.³¹

Esta propiedad influye en la resistencia del suelo y de los bloques de tierra comprimida. Debido a que estos bloques son construidos con suelos poco cohesivos (cenizas volcánicas), se recurre a la cal, que actúa como cementante y aumenta la cohesión entre los materiales utilizados.

5.2. MARCO CONCEPTUAL

5.2.1. Adobes.

Pons³² plantea que aparte de sus ventajas conocidas como su baja conductividad térmica, este material brinda facilidad a las construcciones, por el hecho que la materia prima está siempre presente en el lugar de la obra con el ahorro consiguiente en su transporte. Ventaja apreciable dado el alto volumen de material necesario para construirlas.

A pesar de que en la actualidad puede utilizarse maquinaria para la producción de adobes, puede ser tan anticuado para la construcción como arrojar bolas de lodo a

³⁰ *Ibíd.* P. 1.

³¹ REVISTA ARQUIS. Estabilización de suelos. 2012. [En línea] Disponible en <<http://www.arqhys.com/articulos/suelos-estabilizacion.html>> [Citado el: 01 de noviembre de 2017.] P. 1.

³² PONS, Gabriel. La tierra como material de construcción. 2016. [En línea] Disponible en <http://ieham.org/html/docs/La_tierra_como_material_de_construcion.pdf> [Citado el 28 de octubre de 2017.]

un muro, esta es una labor que no requiere de herramientas ni equipo alguno, tal vez una pala y fibra.

Las desventajas que presenta este material son muy conocidas, tales como sus propiedades higrófilas que absorben la humedad atmosférica en ambientes con el aire saturado, perdiendo así resistencia a los esfuerzos. En ambientes de alta precipitación los muros tienden a debilitarse hasta colapsar.

Las resistencias a compresión que presentan los adobes se consideran bajas entre 3 y 5 Kg/cm², cuando se encuentran secos se anula su resistencia a la tensión. Esto dificulta el transporte cuando el material no ha recibido el curado adecuado para moverlos y en el proceso se fracturan.

5.2.2. Materiales.

5.2.2.1. Concreto.

“Es un material modesto y de elaboración sencilla, cuyo uso tiene una tradición de dos mil años aproximadamente. Híbrido por excelencia donde su esencia radica en la mezcla o aleación que se componga. Es una masa eficaz y barata, considerada la piedra artificial.”³³

5.2.2.2. Cenizas Volcánicas.

La ceniza volcánica es una composición de partículas de roca y mineral muy finas (de menos de 2 milímetros de diámetro) eyectadas por un viento volcánico. La ceniza se genera a partir de la roca cuarteada y separada en partículas diminutas durante un episodio de actividad volcánica explosiva. La naturaleza normalmente violenta de una erupción, incluyendo chorros de vapor de agua (erupción freática), produce como resultado una gran cantidad de magma y tal vez roca sólida que rodea el viento volcánico, torneando las partículas hasta reducirlas al tamaño de granos de arena.

La pluma que se ve a menudo sobre un volcán en erupción está compuesta principalmente de cenizas y vapor. La eyección de grandes cantidades de ceniza

³³ GONZALEZ, Andrés. Cemento-Concreto espacio y materialidad. 2011. [En línea] Disponible en <<http://es.slideshare.net/archieg/concreto-8189329>> [Citado el 28 de octubre de 2017.] P. 10.

provoca un cono de estas. La acumulación de cenizas tiende a cementarse hasta formar capas de una roca llamada toba volcánica. Las partículas más finas pueden ser arrastradas por el viento a lo largo de muchos kilómetros, que dan al paisaje un aspecto "polvoriento" al depositarse. El término piroclasto se refiere a cualquier material volcánico sólido arrojado al aire durante una erupción. Si se eyecta magma líquido en forma de aerosol, las partículas se solidifican en el aire formando pequeños fragmentos de vidrio volcánico.³⁴

5.2.2.3. Cal hidratada (hidróxido de calcio)

“El hidróxido de calcio es un polvo blanco que se obtiene por la calcinación del carbonato cálcico. Es considerado como el medicamento de elección tanto en la protección pulpar directa como indirecta, y pulpotomía vital. Como tiene tendencia a formar carbonato con el anhídrido carbónico (CO₂) del aire, se recomienda almacenarlo en un frasco color topacio bien cerrado. Es poco soluble en agua, su pH es alcalino, aproximadamente de 12.4, lo que le permite ser un magnífico bactericida, hasta las esporas mueren al ponerse en contacto con el elemento.”³⁵

La cal es utilizada para estabilizar y fortalecer las subbases y bases debajo del pavimento.

- ✓ Ganancia progresiva de resistencia a la compresión (VRS) con el tiempo.
- ✓ Durabilidad a largo tiempo en muy adversas condiciones.
- ✓ Se crea una barrera resistente al agua.
- ✓ Reducción del índice de plasticidad.
- ✓ Reduce las características de expansión y agrietamientos.
- ✓ Cuando se agregan las cantidades adecuadas de cal y agua, el pH del suelo rápidamente se incrementa, siendo favorable para la formación de silicatos y aluminatos de calcio.

³⁴ INSTITUTO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL ARGENTINA. Boletines temáticos: cenizas volcánicas. 2008. [En línea] Disponible en <<http://www.ibepi.org/wp-content/uploads/2014/12/Cenizas1.pdf>>. [Citado el 30 de octubre de 2017].

³⁵ ALVARADO, M. L. E., MARTÍNEZ, F. L.; ELIZONDO, R. T. Hidróxido de calcio. Revista Mexicana de Estomatología. 2017. P. 39-40.

- ✓ Incrementa substancialmente la capacidad de carga.³⁶

5.2.2.4. Escombros.

Escombros son el conjunto de fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, argamasa, acero, hierro, madera, etc., provenientes de los desechos de construcción, remodelación y/o demolición de estructuras, como edificios, residencias, puentes, etc. Podemos identificar, en los escombros que se producen durante una construcción, la existencia de dos tipos de residuos: • los residuos (fragmentos) de elementos prefabricados, como materiales de cerámica, bloques de cemento, demoliciones localizadas, etc.; • los residuos (restos) de materiales elaborados en la obra, como hormigón y argamasas, que contienen cemento, cal, arena y piedra. Los escombros de construcción se componen de restos y fragmentos de materiales, mientras los de demolición están formados prácticamente sólo por estos últimos, teniendo por eso mayor potencial cualitativo comparativamente con los escombros de construcción.³⁷

5.2.3. Cinva ram.

Máquina manual para fabricar bloques de suelo-cemento sin o con núcleos de diferente forma. La máquina se fundamenta en la "palanca de fuerza infinita" o "togle", de tal manera que en la medida en que se va comprimiendo la mezcla se incrementa la presión sobre ésta. Se produce un bloque de construcción de buena resistencia y durabilidad.

Un equipo de 2 operarios experimentados fabrica entre 400 y 500 bloques de 9x14x29 cm con una resistencia de 14 a 35 kg/cm² (200 a 500 psi) y en mezclas más ricas de 25 a 50 kg/cm².

5.2.3.1. Ventajas.

Se fabrican bloques para interiores con 10 a 14 partes de tierra arenosa, dos de cal apagada y una de cemento. Para exteriores con 6 a 10 partes de tierra-arena 2

³⁶ Estabilización de suelos con cal [En línea] Disponible en <http://anfagal.org/media/Biblioteca_Digital/Construccion/Estabilizacion_de_Suelos/Estabilizacion_de_suelos_con_cal-REBASA-PresentacionA.pdf> [Citado el 30 de octubre de 2017.]

³⁷ CEMPRE. Manual de gestión integral. Uruguay. 2008. P. 250.

partes de cal y una parte de cemento. Se crean dos puestos de trabajo con una inversión en bienes de capital del orden de US\$ 150.00.

5.2.3.2. Desventajas.

Se requieren conocimientos especiales para garantizar la calidad de la materia prima. La construcción en bloque sin repellar deja intersticios en los cuales se pueden alojar insectos en el trópico. Socialmente es común considerar una casa " hecha de tierra" como un retroceso, así el material posea cualidades iguales o superiores a las de la mampostería convencional.³⁸

Esta máquina manual CINVA RAM fue un invento supremamente importante para la innovación en la creación de materiales para la construcción. Da la oportunidad de fabricar bloques de tierra comprimida de buena resistencia, ya que aumenta la capacidad de resistencia del suelo mediante la compactación de la materia prima. "La máquina fue desarrollada por el ingeniero Raúl Ramírez (RAM) del CINVA-Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento dentro del Proyecto 22 de la OEA. Está considerada como una de las tecnologías latinoamericanas más difundidas en el mundo."³⁹ Esta máquina es un aporte muy importante a la lucha en contra la pobreza, es una tecnología que permite avanzar investigaciones sobre la fabricación de dichos bloques para encontrar una alternativa de material de construcción que devolverá a la población de estrato bajo una mejor calidad de vida adquiriendo vivienda propia.

5.3. MARCO DE ANTECEDENTES

Martinez Gaytan⁴⁰ dice que los materiales de tierra cruda se les ha concedido la categoría de ecológicos, limpios, o sustentables. Sin embargo no se ha explicado a fondo el por qué. Generalmente se argumenta su bajo o nulo consumo energético, pero el espectro ambiental es mucho más amplio y complejo. Desde la lógica del análisis de ciclo de vida (ACV) es posible identificar eventos en cada etapa de un material, desde la extracción de materias primas hasta el final de su vida útil. Tomando en cuenta esta lógica, y conociendo de manera general los procesos productivos de tres materiales de mampostería, se hace un ejercicio

³⁸ PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO TECNOLOGIAS EN LA ERRADICACION DE LA POBREZA. Cinva – Ram Máquina Para Fabricar Bloques De Suelo – Cemento. Bogotá.

³⁹ *Ibíd.*

⁴⁰ MARTÍNEZ GAYTAN, I. Hacia la determinación de la viabilidad ambiental de los sistemas constructivos: el caso de los BTC en la zona central de la República mexicana. Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies. 2012. P. 1.

deductivo, a partir del cual se otorgan valores de posibles impactos positivos y negativos a cada uno, en relación con ocho variables de interés, a lo largo de cada etapa de su ciclo de vida.

En los últimos años, muchos investigadores en el sector de la construcción se han dedicado a buscar métodos o materiales que sean sostenibles, amigables con el medio ambiente. Es por esto que el suelo ha vuelto a ser considerado un elemento constructivo valioso. Durante muchos años, el desarrollo de las ciudades fue irresponsable con el medio ambiente, pero al ser cada vez más evidente la contaminación varios autores han buscado soluciones tales como utilizar el escombros de concreto como agregado con el fin de reducir los residuos generados en las obras civiles.

Autores como Martínez Gaytan⁴¹ defienden la construcción con suelo. En un fragmento de sus conclusiones dice:

El desarrollo tecnológico tan simple como es el BTC, permite incrementar considerablemente las capacidades constructivas de la tierra, conservando su capacidad de integración arquitectónica en distintos entornos con gran libertad para el diseño. Actualmente los límites de la construcción con tierra son más de orden cultural que técnico. Por lo mismo, la investigación sobre BTC, y la tierra en general, tiene una gran importancia no sólo desde el punto de vista patrimonial, sino también para el mejoramiento y desarrollo de nuevas técnicas. Con un adecuado control de calidad, los BTC podrían remplazar a los materiales convencionales, pudiendo ser fabricados para aplicaciones específicas, pues hay máquinas que permiten desarrollar dimensiones y formas especiales. No obstante, las condiciones de algunos suelos merecen un tratamiento adicional, añadiendo algún material estabilizante, lo que incrementará el costo, y adicionará cierta carga ambiental.

En un artículo realizado por Alejandro Vásquez Hernández, Luis Fernando Botero Botero y David Carvajal Arango⁴², plantea una alternativa que contribuye a dar un paso hacia el ciclo continuo Reciclaje-Fabricación-Uso-Reciclaje, a partir de contemplar la posibilidad de entender los residuos como materia prima de nuevos procesos, disminuyendo a su vez la extracción de materiales. Para ello se propone la fabricación de bloques de tierra comprimida a partir de la utilización de la tierra resultante del proceso de excavación y la adición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como agregado, sustituyendo la totalidad del agregado tradicionalmente utilizado.

⁴¹ *Ibíd.* P. 1.

⁴² HERNANDEZ, V; BOTERO, L. F; CARVAJAL Arango, D. Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. 2015. P. 197-220.

A pesar de que en el artículo mencionado los BTC cumplieron con lo especificado en la Norma Técnica Colombiana para bloques de suelo cemento, con resistencias a la compresión de hasta 5.34 MPa (y lo mínimo de la norma es de 2 MPa), la normativa en general para la construcción con tierra en el país es muy escasa. “En 2005 se emite la norma colombiana NTC 5324 (20), editada por ICONTEC, siendo una traducción de la norma experimental francesa XP P13-901,2001(24) de AFNOR sobre BTC”⁴³, pero esta se limita al cemento como único agregado, faltando así incluir materiales alternativos como la cal y el escombro de concreto.

En un trabajo realizado en Bolivia por Sandra Bestraten y Emilio Hormias⁴⁴, para la construcción de un hogar de adultos mayores, fueron utilizados BTC con adición de cemento en diferentes porcentajes. El porcentaje que obtuvo un mejor resultado de resistencia, fue de 10% llegando hasta los 6.05 MPa, el cual es una buena resistencia para un bloque no estructural.

Algunas investigaciones solo buscaron establecer una metodología para el control de calidad de los BTC sin agregar ningún material alternativo.⁴⁵

En la Universidad de Bath, Inglaterra⁴⁶, se han ido adelantando estudios acerca de nuevos métodos de ensayos de resistencia a la compresión de BTC sin ningún aditivo, teniendo resultados de hasta 6.4 MPa,

En el estudio “Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción” María Laguna⁴⁷, propuso la elaboración de un nuevo material constructivo inspirado en el adobe tradicional y que pueda sustituir al ladrillo convencional cocido. La idea de fabricar un “eco-ladrillo” para lo cual se emplee suelo inalterado combinado con aditivos comerciales como el cemento y la menos usual, pero igual de eficiente cal hidráulica. Innova ampliamente al considerar las cenizas de cáscaras de arroz como aditivo resistente, suponiendo con éste último la reducción de un gran impacto medio ambiental.

⁴³ FALCETO, J; RUIZ MAZARRON, F; GUERRERO CAÑAS, I. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Informes de la construcción revista de información técnica. 2011. p. 159-169.

⁴⁴ BESTRATEN, Sandra y HORMIAS, Emilio. Bloques de tierra comprimida en el proyecto del centro del adulto mayor de san José de chiquitos, Bolivia.

⁴⁵ GARCIA, Adriana Beatriz; MAZZEO, Juan Pablo; MARTINEZ. Armenis G. Metodología de control de calidad en producción de paneles con suelos estabilizado. Universidad Tecnológica Nacional - Argentina, 2015. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA.

⁴⁶ MOREL, Jean-Claude, PKLA, Abalo y WALKER, Peter. Compressive strength testing of compressed earth blocks. En Construction and Building Materials 2007, p. 303-309.

⁴⁷ LAGUNA C María, Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción, 2011. España.

Luis Fernando Guerrero Baca, Rubén Salvador Roux Gutiérrez y Francisco Javier Soria López⁴⁸ en el año 2013, realizaron una propuesta donde se propuso el uso de la cal como estabilizante de la tierra, propuesta que ha sido probado en diferentes tipos de obras civiles, especialmente las de consolidación de terrenos para el desarrollo de infraestructura e ingeniería de caminos.

Así mismo, estudiantes de la Escuela de Geología en Bucaramanga, realizaron un estudio en busca de soluciones a las bajas propiedades mecánicas y la poca resistencia al agua que presentan los bloques de tierra comprimida sin ningún aditivo.

Para mejorar estas características desfavorables, se utilizaron residuos de minería del yeso y cal estabilizantes para mejorar las propiedades de estos materiales de construcción. Se realizaron ensayos de laboratorio, los cuales arrojaron resultados positivos con respecto a la resistencia a la compresión y flexión de los bloques. También se determinó que con un 25% de residuo de minería, se aumenta la resistencia al ablandamiento en agua. Los resultados mostraron que los residuos de minería del yeso pueden utilizarse como materiales alternativos en la estabilización de bloques de tierra comprimida.⁴⁹

En la región se han venido adelantando investigaciones experimentales en donde se han fabricado BTC con diferentes agregados. Por ejemplo, Diego Alejandro Lobo Morales, Emma Londoño Zuluaga, Paula Yulieth Marín Gaviria, Stefania Osorio Ceballos, Paola Melisa Valencia Restrepo) Universidad Libre Seccional de Pereira⁵⁰, ensayaron bloques fabricados con escombros de ladrillo y cal al 17.5%, así como también Alejandra Cardona Rincón, Daniela Duran Santa, Manuela Gómez Echeverry, Mateo Lotero Valencia y Andrés Felipe Mendoza Herrera⁵¹, obteniendo diferentes promedios de resistencia a la compresión, que aunque no han superado los establecidos por la norma, arrojando una resistencia promedio de 0.3 MPa, sí han mejorado las propiedades de los BTC y han dado paso a continuar con las investigaciones.

En la misma institución se han probado diferentes materiales con el fin de aumentar la resistencia de los bloques basándose en alternativas de construcción

⁴⁸ SORIA, F; GUERRERO, L; LARRONDO, M; "TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA. DESARROLLO DE PROTOTIPO EXPERIMENTAL." En: Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro. Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012. [En línea] Disponible en <<http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2013/29in-soria.pdf>> [Citado el 30 de octubre de 2017]

⁴⁹ JARAMILLO PÉREZ, E. R., Plata-Chaves, J. M., & Ríos-Reyes, C. A. 2014. The use of gypsum mining by-product and lime on the engineering properties of compressed earth blocks. *Dyna*, p. 42-51.

⁵⁰ LOBO MORALES, *et al.* Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 17,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira. 2015.

⁵¹ CARDONA, Alejandra, *et al.* Universidad Libre Seccional de Pereira 2015.

ecológicas. Una de las investigaciones utilizó cartón, arena y cal en diferentes porcentajes, y obtuvieron una resistencia promedio de 1.35 MPa.⁵² Otro material utilizado por estudiantes peruanos, fue la cascara de arroz, dando resultados favorables, con una resistencia promedio de 2.85 MPa para un porcentaje de cáscara de arroz del 10%.⁵³

Otros materiales han arrojado resultados de resistencia mayores; tal es el caso del geopolímero, utilizado por Olga Nallive Yepes Gaviria y Carlos Mauricio Bedoya Montoya en la universidad Nacional de Colombia llegando hasta 4,0 MPa de resistencia a compresión.⁵⁴

Unas de las investigaciones más recientes realizadas a BTC con materiales alternativos, son las de Jhon Edward Echeverry y Camilo Jaramillo⁵⁵, y Camilo Escobar, Juan Sebastián León y Vanessa Salazar⁵⁶, arrojaron resultados similares, siendo ambos de 0.4 MPa en muretes y de 0.7 MPa aproximadamente en bloques individuales.

En la Universidad Católica de Salta⁵⁷, buscando un gasto energético mínimo, se realizaron BTC sin adiciones, de los cuales se obtuvieron resultados favorables de entre 2.39 y 3.45 Mpa.

Estos estudios abren el camino para nuevas investigaciones que buscan alternativas sostenibles de construcción de vivienda y si bien, es posible que no arrojen resultados aptos para ser elementos estructurales, pueden aun ser utilizados como elementos divisorios.

⁵² MOLINA, Gloria Milena, *et al.* Universidad Libre Seccional Pereira - Colombia, 2015.

⁵³ AGÜERO, Johnny; CERÓN, Javier; GONZALEZ, Juan Carlos y MENDEZ, María Teresa. Análisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de aparejo. Universidad Ricardo Palma, Perú. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15º: 2015: Ecuador).

⁵⁴ YEPES GAVIRIA, Olga Nallive y BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. El bloque de suelo cemento (bsc) al bloque de suelo geopolimerizado (bsg). Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Medellín. 2013. p.77.

⁵⁵ ECHEVERRY, Jhon Edwar; JARAMILLO, Camilo. Elaboración de (btc) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos. Universidad Libre Seccional Pereira - Colombia, 2017.

⁵⁶ ESCOBAR, Camilo; LEÓN, Juan Sebastián; SALAZAR, Vanessa. Bloques de tierra comprimida con adición de residuos de concreto y cemento como solución sostenible para la construcción de muros no estructurales. Universidad Libre Seccional Pereira - Colombia, 2016.

⁵⁷ GALINDEZ, Fernando. Fabricación de mampuestos tipo btc sin añadir cemento, logrando buenas cualidades físicas y mecánicas, con el menor costo energético posible. En: Seguridad y medio ambiente. Septiembre, 2009. no. 145. p. 64-73.

La construcción con tierra puede verse en la actualidad como rudimentaria, pero aún podemos ver edificaciones construidas hace muchos años en pie. “Los sistemas constructivos en tierra de edificaciones patrimoniales consisten principalmente en muros de carga; se diseñaron para soportar cargas verticales (peso propio, entresijos, cubiertas y otros) y de servicio (carga viva), sin incluir los efectos producidos por un sismo.”⁵⁸

5.4. MARCO LEGAL

En Colombia existe un manual de normas de ensayo de materiales que es utilizado para la caracterización de los suelos, esta es la norma la genero el instituto nacional de vías (INVIAS); de la misma manera, la norma técnica colombiana (NTC) establece parámetros para la elaboración, utilización y ensayos de bloques de tierra comprimida. En la Tabla 1 se mencionan las normas empleadas dentro de la investigación.

Tabla 1. Marco Legal.

NORMA	DESCRIPCIÓN	OBJETO
I.N.V. E - 102	Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)	Esta norma describe el método denominado "sistema unificado de clasificación de suelos" (sucs). La identificación se hace mediante un examen visual y ensayos manuales, condición que se debe indicar claramente al elaborar el respectivo informe.
I.N.V. E – 121	Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición	El método de "pérdida por ignición" para la determinación del contenido orgánico, es más aplicable a aquellos materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales carboníferos como el lignito, carbón, etc. Este método determina la oxidación cuantitativa de la materia orgánica en tales materiales y proporciona una estimación válida del contenido orgánico. El método de la "combustión húmeda" (Norma AASHTO T194) se recomienda cuando se desea determinar el material orgánico fácilmente oxidable (del tipo humus), para proveer información relacionada con la aptitud de un suelo para cultivo.

Fuente: Elaboración propia.

⁵⁸ RIVERA TORRES, J. C. El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural- Journal of Cultural Heritage Studies. 2012. p. 164-181.

Tabla 1. Marco Legal. Continuación.

NORMA	DESCRIPCIÓN	OBJETO
I.N.V. E – 123	Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	Se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo. La distribución de las partículas mayores de 75 μm (retenidas en el tamíz No. 200) se determina por tamizado, mientras que la distribución de los tamaños de las partículas menores de 75 μm se determinan por un proceso de sedimentación empleado con un hidrómetro.
I.N.V. E – 125	Determinación del límite líquido de los suelos	Esta norma se refiere a la determinación del límite líquido de los suelos.
I.N.V. E – 128	Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua	Esta norma de ensayo se utiliza para determinar la gravedad específica de los suelos que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y del llenante mineral de las mezclas asfálticas (filler), empleando un picnómetro. Cuando el suelo contiene partículas mayores que el tamiz de 4.75 mm (No.4), la gravedad específica de éstas se deberá determinar de acuerdo con el método de ensayo descrito en la norma INV E-223.
I.N.V. E – 133	Equivalente de arena de suelos y agregados finos	Este ensayo tiene por objeto determinar, bajo condiciones normalizadas, las proporciones relativas de polvo y material de apariencia arcillosa o finos plásticos presentes en suelos o agregados finos de tamaño inferior a 4.75 mm. El término "equivalente de arena" expresa el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y los agregados finos son mezclas de arena y partículas gruesas deseables, y de polvo y finos arcillosos o plásticos indeseables.
I.N.V. E – 142	Relaciones de humedad - peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación)	Los siguientes métodos de ensayo se emplearan para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactandolos en un molde de 101.6 o 152.4 mm (4" o 6") de diámetro, con un martillo de 44.48 N (10 lbf) que cae libremente desde un altura de 457.2 mm (18"), produciendo una energía de compactación aproximada de 2700 kN-m/m ³ (56000 lbf/pie/pie ³).
I.N.V. E – 152	Compresión inconfiada en muestras de suelos	Esta norma describe el ensayo para determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación. El ensayo se puede realizar sobre muestras inalteradas, remoldeadas o compactadas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Marco Legal. Continuación

NORMA	DESCRIPCIÓN	OBJETO
I.N.V. E – 181	Sistema unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería	Esta norma describe el método denominado "sistema unificado de clasificación de suelos" (sucs), mediante el cual se clasifican los suelos con base en la determinación en el laboratorio de la distribución de los tamaños de sus partículas, de su límite líquido y su índice de plasticidad.
I.N.V. E – 214	Ensayo de cantidad de material fino que pasa el tamiz 200 en los agregados.	Establece dos procedimientos para determinar el lavado, la cantidad de material más fino que el tamiz 75 æm en agregados. Las partículas de arcilla y otras partículas del agregado que se dispersan por el lavado con agua, así como los materiales solubles en el agua, se separa del agregado durante el ensayo.
I.N.V. E – 223	Gravedad específica y absorción de agregados gruesos.	Determinar la densidad y la absorción del gregado grueso. La densidad se puede expresar como densidad aparente, densidad aparente (SSS) (saturada y superficialmente seca), o densidad nominal. La densidad nominal (SSS) y la absorción se basan en el humedecimiento en agua del agregado después de 24 h.
NTC 5324	Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. condiciones de entrega	Esta norma define las características generales que deben cumplir los bloques macizos de suelo cemento para muros y divisiones. Describe los ensayos propios para determinar dichas características.
NTC 4017	Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.	Este método de ensayo comprende los procedimientos para la elaboración y ensayo de muretes de mampostería y los procedimientos para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería.

Fuente: Elaboración propia.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Esta investigación es de tipo cuantitativa, ya que se desea conocer el valor de la resistencia a la compresión de los muretes elaborados con BTC; es además un estudio exploratorio, debido a que ha habido pocas investigaciones que aborden el tema y no se encuentran muchos antecedentes que indiquen resultados certeros a los ensayos que se pretenden realizar.

Por otro lado, es considerada también de tipo experimental, ya que se manipulan variables para determinar su efecto sobre otras variables en la ejecución de pruebas controladas dentro del laboratorio, y finalmente es de tipo descriptivo debido a que se pretende redactar una metodología para la elaboración de muretes a partir de BTC.

Dentro de las variables que se mencionan anteriormente se encuentran aquellas cuyo valor depende de cómo se modifica otra variable independiente, en base a esto se describe a continuación a qué tipo pertenecen las variables presentes en esta investigación:

Dependientes: resistencia a la compresión, densidad seca máxima, contenido de humedad aplicado a la mezcla.

Independientes: suelo, contenido de humedad natural del suelo, porcentaje de cal, porcentaje de arcilla, porcentaje de escombro de concreto.

6.1. MATRIZ DE DISEÑO METODOLÓGICO

En la Tabla 2 se describen las actividades, con su respectivo método de análisis y pruebas de laboratorio, todo esto relacionado con los específicos de la investigación.

Tabla 2. Matriz de diseño metodológico.

OBJETIVO ESPECIFICO	ACTIVIDAD	METODOLOGIA	TÉCNICA - INSTRUMENTO
Comparar la resistencia a la compresión de probetas elaboradas con suelo-cal y suelo-cal-arcilla	Realizar los laboratorios necesarios para caracterizar el suelo a utilizar.	Descriptivo	Normas I.N.V. E-102 I.N.V. E-121 I.N.V. E-122 I.N.V. E- 123 I.N.V. E-125 I.N.V. E-126 I.N.V. E-128 I.N.V. E- 133 I.N.V. E-142 I.N.V. E-152 I.N.V. E-181 I.N.V. E- 223
	Elaborar probetas de suelo-cal con dos dosificaciones diferentes y fallarlas a la compresión inconfinaada.	Experimental	Norma I.N.V. E-152
	Elaborar probetas de suelo-cal-arcilla con dos dosificaciones diferentes de arcilla y fallarlas a la compresión inconfinaada.	Experimental	Norma I.N.V. E-152
Determinar el porcentaje óptimo de cal, arcilla y concreto reciclado para la obtención de BTC con las mejores condiciones de resistencia y elaborar muretes para fallar a compresión y determinar su resistencia.	Comparar los resultados de resistencia a la compresión inconfinaada de las probetas de suelo-cal elaboradas con dos dosificaciones diferentes.	Comparativo	Análisis matricial
	Comparar los resultados de resistencia a la compresión inconfinaada de las probetas de suelo-cal-arcilla elaboradas con el mejor porcentaje de cal obtenido anteriormente y dos dosificaciones diferentes de arcilla.	Comparativo	Análisis matricial
	Elaborar los BTC con los porcentajes de cal y arcilla que arrojaron los resultados más favorables de resistencia, variando el porcentaje de escombro de concreto.	Exploratorio	Análisis matricial
	Fallar los BTC con el fin de comparar y determinar el porcentaje de concreto reciclado con el que se obtenga una mayor resistencia.	Exploratorio	Análisis matricial, junto a las normas NTC 5324 y NTC 4017

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Matriz de diseño metodológico. Continuación.

OBJETIVO ESPECIFICO	ACTIVIDAD	METODOLOGIA	TÉCNICA – INSTRUMENTO
Determinar el porcentaje óptimo de cal, arcilla y concreto reciclado para la obtención de BTC con las mejores condiciones de resistencia y elaborar muretes para fallar a compresión y determinar su resistencia.	Elaborar muretes de BTC empleando los porcentajes óptimos de suelos derivados de cenizas volcánicas, cal arcilla y concreto reciclado y fallarlos a compresión inconfiada.	Exploratorio	Análisis matricial, junto a las normas NTC 5324 y NTC 4017
Formular un protocolo semi estandarizado para la fabricación de BTC y su aprovechamiento en vivienda sustentable.	Formular un protocolo o metodología que describa la elaboración de dichos bloques y muretes según las condiciones de la presente investigación.	Descriptivo	Formato de procedimiento

Fuente: Elaboración propia.

6.2. FASES Y RESULTADOS

6.2.1. FASE 1. Extracción de Materiales.

El suelo utilizado para las muestras son suelos derivados de cenizas volcánicas por lo tanto, se extrae muestra de suelo de la avenida sur, diagonal a la Universidad Libre Seccional Pereira, sede Belmonte, cerca de Mercasa.

El escombros de concreto es extraído de una obra ubicada en Dosquebradas, sector los molinos y es producto de demoliciones de elementos diseñados para tener una resistencia de 3000 PSI; la arcilla fue obtenida de ladrillera la Esmeralda, ubicada en cerritos, Pereira, mientras que la cal se obtuvo de Químicos Pereira.

6.2.2. FASE 2. Control de los Materiales.

El control de los materiales se realiza por medio de ensayos de laboratorios, elaborados dentro de las instalaciones de la Universidad Libre, en la Tabla 3 se describe que ensayos se realizan a cada componente de la mezcla.

Tabla 3. Control de materiales.

NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICADO A:		
		SUELO	ARCILLA	ESCOMBR O DE CONCRETO
I.N.V. E - 102	DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL)	X	X	
I.N.V. E - 121	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO DE UN SUELO MEDIANTE EL ENSAYO DE PÉRDIDA POR IGNICIÓN	X		
I.N.V. E - 122	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO –AGREGADO	X		
I.N.V. E - 123	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS	X		X
I.N.V. E - 125	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS	X	X	
I.N.V. E - 126	LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS	X	X	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Control de materiales. Continuación.

NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICADO A:		
		SUELO	ARCILLA	ESCOMBR O DE CONCRETO
I.N.V. E - 128	DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA	X		
I.N.V. E - 133	EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS			
I.N.V. E - 142	RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)	X		
I.N.V. E - 152	COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS	X	X	
I.N.V. E - 181	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA PROPÓSTICOS DE INGENIERÍA	X	X	
I.N.V. E - 223	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			X

Fuente: Elaboración propia.

Todos los ensayos anteriores, se realizan para determinar propiedades tanto físicas como químicas del suelo, la arcilla y el concreto reciclado, con el fin de caracterizarlos y saber el proceso de estabilización necesario para la construcción de los BTC.

6.2.3. FASE 3. Determinación del porcentaje de cal.

Se realizarán seis probetas de la mezcla suelo-cal para la determinación de su resistencia, utilizando dos dosificaciones diferentes que arrojaron buenos resultados en un anterior informe de investigación.⁵⁹

- ✓ 3 probetas: suelo/cal 4.0 %
- ✓ 3 probetas: suelo/cal 4.5 %

Cada probeta deberá cumplir con una relación de esbeltez entre 1:2 y 1:2,5 como se ejemplifica en la Figura 1, una vez verificado este requisito serán sometidas a

⁵⁹ GIRALDO SÁNCHEZ, Ricardo Andrés; LA-ROTTA RÍOS, Mariana. ROTTA Determinación de los parámetros mecánicos en suelos limo arenosos extraídos en la zona de expansión urbana de Pereira estabilizados con cal para cimentaciones. Universidad Libre Seccional Pereira. 2015.

una prueba de compresión inconfiada siguiendo el procedimiento descrito en de la norma INVIAS 152 para determinar la dosificación que aporte mejores resultados de resistencia.

Figura 1. Probeta de suelo-cal



Fuente: Elaboración propia.

6.2.4. FASE 4. Determinación del porcentaje de arcilla.

Se realizarán seis probetas de la mezcla suelo, cal y arcilla teniendo en cuenta que el porcentaje de cal es el mismo que arrojó mejores resultados en las pruebas realizadas en la fase anterior. Para este caso se emplearán probetas con el 10% y el 20% de arcilla.

- ✓ 3 probetas: suelo/cal (porcentaje de mayor resistencia)/arcilla 10%
- ✓ 3 probetas: suelo/cal (porcentaje de mayor resistencia)/arcilla 20%

Cada probeta deberá cumplir con una relación de esbeltez entre 1:2 y 1:2,5 como se ejemplifica en la Figura 2, una vez verificado este requisito serán sometidas a

una prueba de compresión inconfiada siguiendo el procedimiento descrito en de la norma INVIAS 152 para determinar la dosificación que aporte mejores resultados de resistencia.

Figura 2. Elaboración del murete.



Fuente: Elaboración propia.

6.2.5. FASE 5. Determinación del porcentaje de escombros de concreto.

Se realizarán treinta y seis bloques de la mezcla suelo, cal, arcilla y escombros de concreto teniendo en cuenta que el porcentaje de cal y arcilla son aquellos que obtuvieron mejores resultados de resistencia en los ensayos realizados en las fases tres y cuatro respectivamente. En esta ocasión se modificará el porcentaje de escombros en cuatro dosificaciones diferentes, siendo estas: 5%, 10%, 15% y 20%

- ✓ 9 bloques: suelo/cal (porcentaje de mayor resistencia)/arcilla (porcentaje de mayor resistencia)/escombros 2,5%
- ✓ 9 bloques: suelo/cal (porcentaje de mayor resistencia)/arcilla (porcentaje de mayor resistencia)/escombros 5,0%
- ✓ 9 bloques: suelo/cal (porcentaje de mayor resistencia)/arcilla (porcentaje de mayor resistencia)/escombros 7,5%
- ✓ 9 bloques: suelo/cal (porcentaje de mayor resistencia)/arcilla (porcentaje de mayor resistencia)/escombros 10,0%

Estos bloques se realizarán utilizando la bloquera CINVA RAM (mostrada en la Figura 3) la cual produce bloques estándar de dimensiones: 30 cm de largo, 15 cm de ancho y 10 cm de alto, estos se someterán a un periodo de curado por 30 días calendario antes de ser llevados a un laboratorio de suelos en el área metropolitana, específicamente Geotecnia Ingeniería S.A.S., donde se ensayarán tres bloques de manera individual y dos muretes en la prensa de carga por cada dosificación.

Figura 3. Máquina bloquera Cinva Ram.



Fuente: Elaboración propia.

En su elaboración, se deberá llenar el molde 3 cm por encima de la altura especificada del bloque como se ejemplifica en la Figura 4 con el fin de que esta altura adicional sea reducida al eliminar los vacíos con la compactación.

Figura 4. Llenado de molde.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez extraído el bloque como se muestra en la Figura 5 se debe verificar que sus caras no presentan defectos visibles y si los desportillos son permisibles.

Figura 5. Extracción del bloque



Fuente: Elaboración propia.

Como se evidencia en la Figura 6 estos muretes son elaborados a partir de 3 bloques en línea a soga, es decir, dispuestos horizontalmente y apoyados sobre su sección bruta (compuesta por el largo y ancho del bloque), su cara de apoyo se humedece previamente como lo establece la norma antes de pegarlos con mortero de pega 3:1.

Figura 6. Elaboración del murete



Fuente: Elaboración propia

6.2.6. FASE 6. Análisis de los Resultados.

Se realizarán los análisis necesarios de los resultados y graficas obtenidos a partir de los ensayos descritos en las fases anteriores con el fin de comprender el comportamiento final de los materiales y a partir de ello elaborar una conclusión de los resultados obtenidos en el proceso de la investigación, los cuales se presentarán y sustentarán ante la Universidad Libre Seccional Pereira un día determinado.

7. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Mediante los ensayos de control de los materiales elaborados en la fase dos de la investigación, se puede apreciar los resultados obtenidos del suelo en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultado de ensayos aplicados al suelo.

NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICADOS AL SUELO
I.N.V. E – 102	DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL)	Suelo de color café amarillento, olor inorgánico, no plástico con un contenido de humedad considerable pero sin agua visible, compuesto de partículas cohesivas muy finas de consistencia firme y una cementación moderada, su estructura es homogénea y al observarlo no se ve presencia impurezas.
I.N.V. E – 121 (Véase Anexo 2)	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO DE UN SUELO MEDIANTE EL ENSAYO DE PÉRDIDA POR IGNICIÓN	8.74 % de materia orgánica.
I.N.V. E – 122 (Véase Anexo 3)	DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE MUESTRAS DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO -AGREGADO	37.35 % de agua (humedad)
I.N.V. E – 123 (Véase Anexo 4)	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS	Porcentaje que pasa tamiz N°10 = 99.10 % Porcentaje que pasa tamiz N°30 = 95.82 % Porcentaje que pasa tamiz N°60 = 74.75 % Porcentaje que pasa tamiz N°100 = 40.26 % Porcentaje que pasa tamiz N°200 = 1.74 %
I.N.V. E – 125 (Véase Anexo 5)	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS	51.60 % del límite líquido
I.N.V. E – 126 (Véase Anexo 5)	LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS	43.18 % del límite plástico y 8.42 % de índice de plasticidad
I.N.V. E – 128 (Véase Anexo 6)	DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LOS SUELOS Y DEL LLENANTE MINERAL, EMPLEANDO UN PICNÓMETRO CON AGUA	2.52 de gravedad específica

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Resultado de ensayos aplicados al suelo. Continuación.

NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICADOS AL SUELO
I.N.V. E – 142 (Véase Anexo 7)	RELACIONES DE HUMEDAD - PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)	10.00 % de humedad optima
I.N.V. E – 181 (Véase gráfica 5)	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	MH: limo de alta compresibilidad.
I.N.V. E – 214 (Véase Anexo 8)	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD QUE PASA EL TAMIZ DE 75 µm (N°200) EN LOS AGREGADOS PÉTREOS MEDIANTE LAVADO	72.13 % del material fino que pasa el tamiz N°200 por lavado

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, pero en menor medida al material aglomerante utilizado en la investigación le fueron realizados cuatro ensayos, en la Tabla 5 se pueden apreciar los resultados de estos.

Tabla 5. Resultado de ensayos aplicados a la arcilla.

NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICADOS A LA ARCILLA
I.N.V. E – 102	DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL)	Suelo de color rojizo, olor inorgánico, con alta plasticidad y un contenido de humedad alto pero sin agua visible, compuesto de partículas cohesivas muy finas de consistencia firme y una cementación fuerte, su estructura es homogénea y al observarlo no se ve presencia impurezas.
I.N.V. E – 125 (Véase Anexo 9)	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS	43.28 % del límite liquido
I.N.V. E – 126 (Véase Anexo 9)	LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS	25.97 % del límite plástico y 17.31 % de índice de plasticidad
I.N.V. E – 181 (Véase gráfica 6)	SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA	CL: arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media y de poca compresibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo al escombro de concreto se le realizaron dos ensayos, de los cuales se pueden observar sus resultados en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultado de ensayos aplicados al escombro de concreto.

NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICADOS AL ESCOMBRO DE CONCRETO
I.N.V. E – 123 (Véase Anexo 10)	DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS	Porcentaje que pasa tamiz 1" = 91.65 % Porcentaje que pasa tamiz 3/4" = 72.91 % Porcentaje que pasa tamiz 1/2" = 60.51 % Porcentaje que pasa tamiz 3/8" = 33.60 % Porcentaje que pasa tamiz N°4 = 19.93 % Porcentaje que pasa tamiz N°10 = 12.43 % Porcentaje que pasa tamiz N°30 = 7.12 % Porcentaje que pasa tamiz N°50 = 3.26 % Porcentaje que pasa tamiz N°100 = 0.91 % Porcentaje que pasa tamiz N°200 = 0 %
I.N.V. E – 223 (Véase Anexo 11)	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECIFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	Gravedad relativa en condición SH = 1.75 Gravedad relativa en condición SSS = 2.01 Gravedad relativa aparente = 2.37

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia mecánica a la compresión inconfiada realizados en la fase tres de las probetas elaboradas a partir de la mezcla suelo-cal.

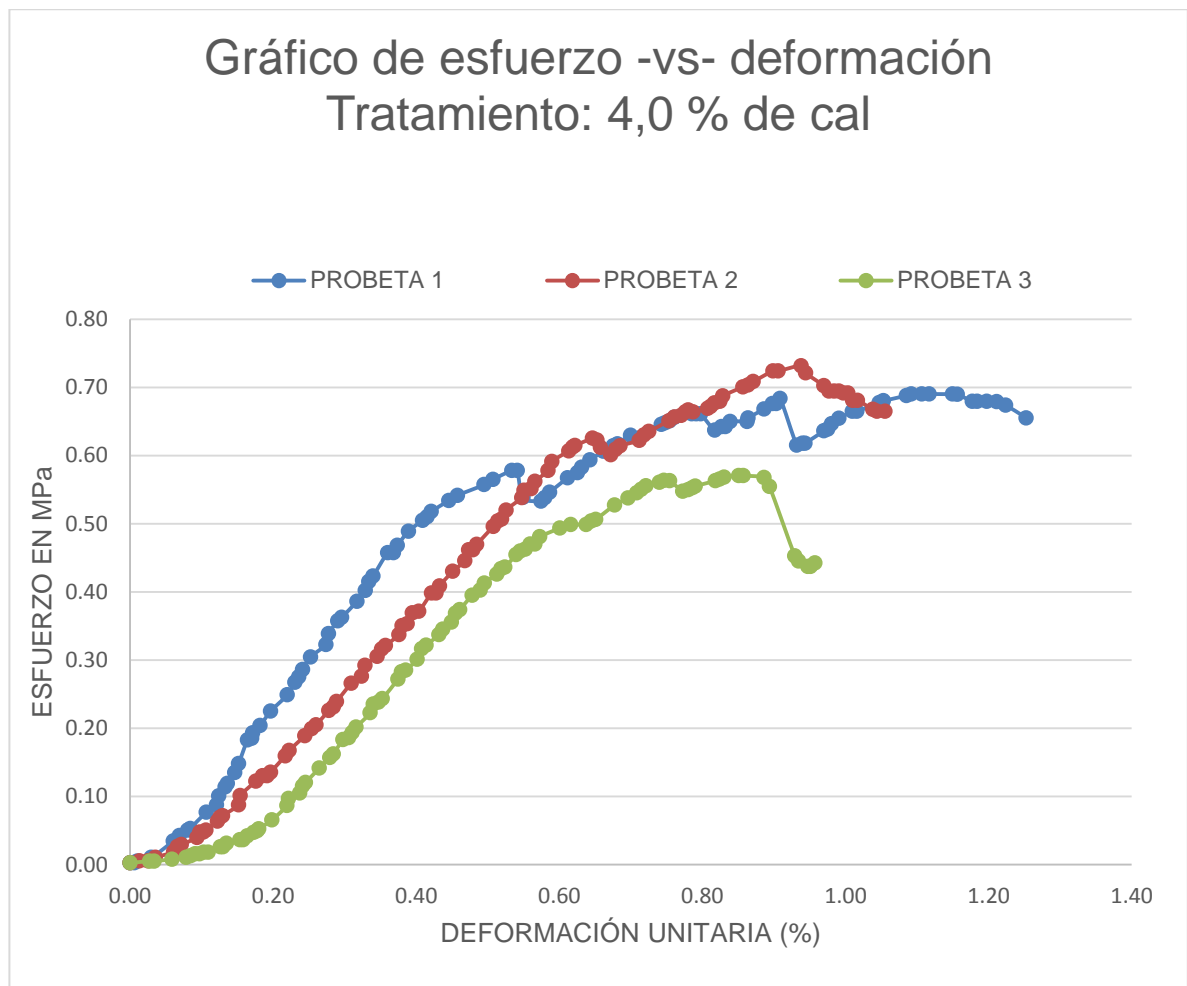
Tabla 7. Resultados de la fase 3.

CONTENIDO DE CAL	NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD DURANTE EL ENSAYO	CARGA DE ROTURA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
4.0% (Véase Anexo 13)	1	50,53 %	2,63	0,66	0,127
	2	53,27 %	2,77	0,66	
	3	51,80 %	2,19	0,44	
	Promedio	51,87 %	2,53	0,59	
4.5% (Véase Anexo 13)	1	53,53 %	5,11	1,30	0,492
	2	49,04 %	1,77	0,42	
	3	54,00 %	4,85	1,24	
	Promedio	52,19 %	3,91	0,99	

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de resistencia y deformación unitaria obtenidos durante la prueba se realiza la Gráfica 1 donde se aprecia la relación entre estas dos variables, indicando un comportamiento directamente proporcional, es decir, mientras incrementa la carga aumenta la deformación unitaria y por ende el esfuerzo.

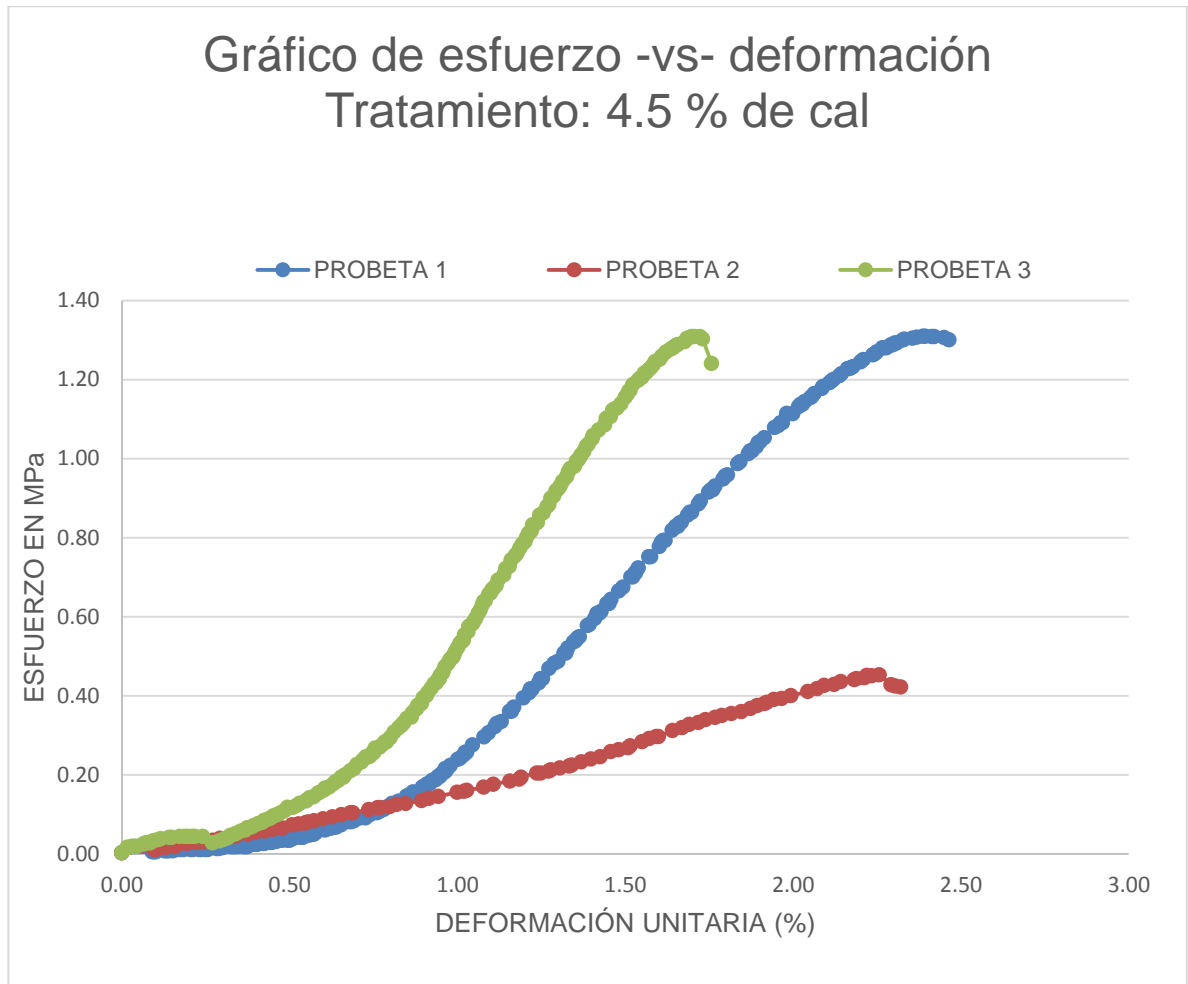
Gráfica 1. Esfuerzo -vs- deformación (tratamiento: 4,0% de cal).



Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, se repitió el procedimiento con el segundo tratamiento obteniendo la Gráfica 2 producto de la alteración en la dosificación de cal. Estos gráficos son una herramienta que permite comparar los resultados obtenidos en ambos ensayos de una manera más visual.

Grafica 2. Esfuerzo -vs- deformación (tratamiento: 4,5% de cal).



Fuente: Elaboración propia.

Después, se repite el procedimiento para los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia mecánica a la compresión inconfiada realizados en la fase cuatro de las probetas elaboradas a partir de la mezcla suelo, cal y arcilla. (Ver Tabla 8)

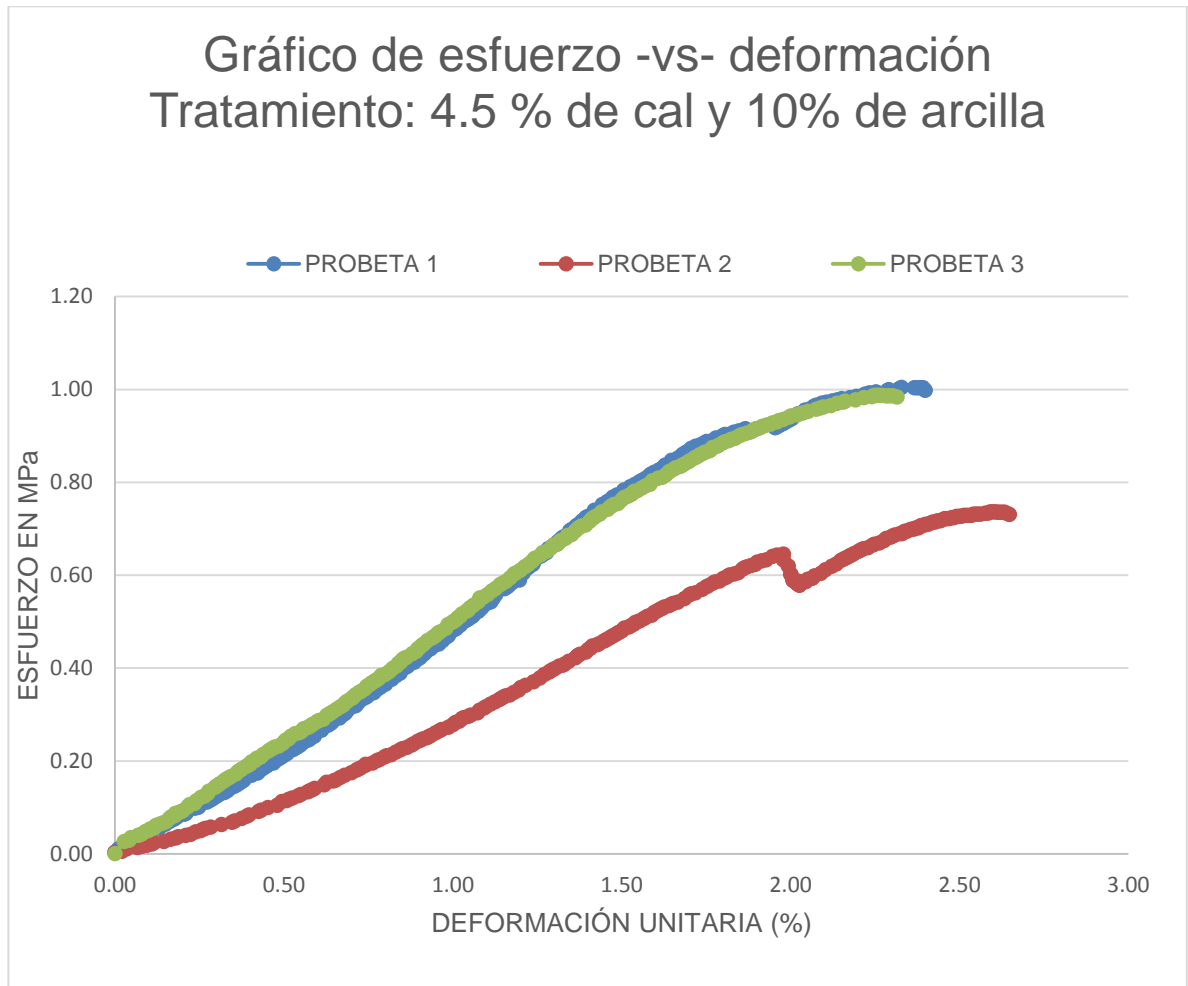
Tabla 8. Resultados de la fase 4.

CONTENIDO DE ARCILLA	NÚMERO DE MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD DURANTE EL ENSAYO	CARGA DE ROTURA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
10% (Véase Anexo 13)	1	44,10 %	3,88	1,00	0,150
	2	46,50 %	2,88	0,73	
	3	45,69 %	3,81	0,98	
	Promedio	45,43 %	3,52	0,90	
20% (Véase Anexo 13)	1	40,58 %	7,11	1,86	0,236
	2	41,95 %	6,72	1,72	
	3	44,51 %	5,54	1,40	
	Promedio	42,35 %	6,46	1,66	

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de resistencia y deformación unitaria obtenidos durante la prueba se realiza la Gráfica 3 donde se aprecia la relación entre estas dos variables, indicando un comportamiento directamente proporcional, es decir, mientras incrementa la carga aumenta la deformación unitaria y por ende el esfuerzo.

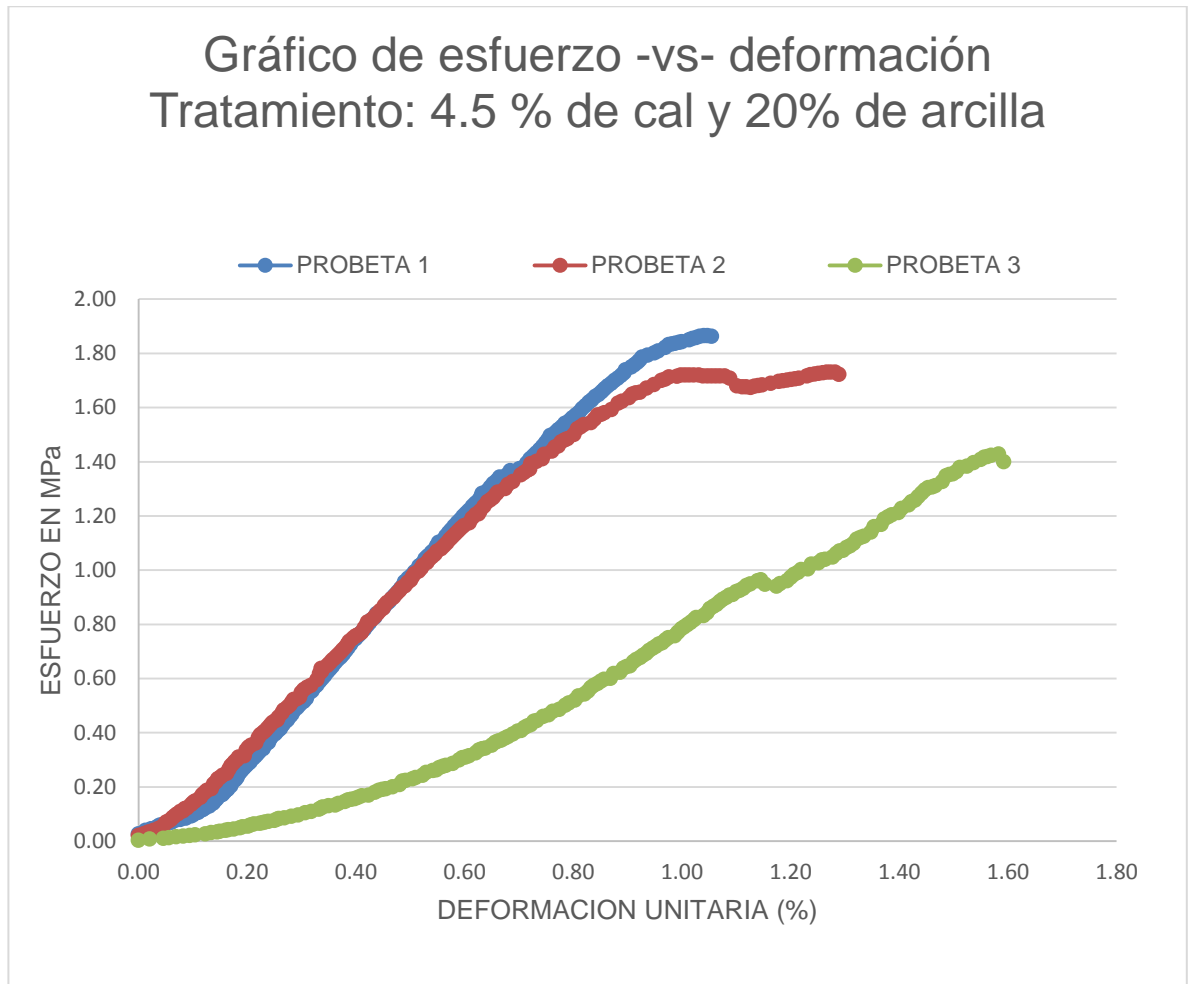
Grafica 3. Esfuerzo -vs- deformación (tratamiento: 4,5% de cal y 10% de arcilla).



Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, se repitió el procedimiento con el segundo tratamiento obteniendo la Grafica 4 producto de la alteración en la dosificación de arcilla. Estos gráficos son una herramienta que permite comparar los resultados obtenidos en ambos ensayos de una manera más visual.

Grafica 4. Esfuerzo -vs- deformación (tratamiento: 4,5% de cal y 20% de arcilla).



Fuente: Elaboración propia.

Una vez con la dosificación adecuada de cal y arcilla obtenida de las pruebas anteriores, se realizaron pruebas a compresión tanto de bloques individuales como de muretes según los lineamientos de las normas NTC 5324, y NTC 4017 respectivamente.

En la Tabla 9 se muestran los resultados de los ensayos de compresión para bloques individuales.

Tabla 9. Resultados de la fase 5, bloques individuales.

PORCENTAJE DE ESCOMBRO	NÚMERO DE MUESTRA	CARGA DE ROTURA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
2.5% (Véase Anexo 13)	1	67,54	1,5	0,058
	2	67,22	1,5	
	3	71,74	1,6	
	Promedio		1,53	
5% (Véase Anexo 14)	1	89,30	2,0	0,058
	2	84,50	1,9	
	3	84,83	1,9	
	Promedio		1,93	
7.5% (Véase Anexo 15)	1	149,94	3,3	0,208
	2	167,88	3,7	
	3	151,86	3,4	
	Promedio		3,47	
10% (Véase Anexo 16)	1	177,46	3,9	0,058
	2	180,16	4,0	
	3	181,28	4,0	
	Promedio		3,97	

Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, en la Tabla 10 se encuentran resumidos los resultados obtenidos en el ensayo de compresión de muretes.

Tabla 10. Resultados de la fase 5, muretes.

PORCENTAJE DE ESCOMBRO	NÚMERO DE MUESTRA	CARGA DE ROTURA (KN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
2.5% (Véase Anexo 13)	1	9,94	0,2	0,000
	2	8,33	0,2	
	Promedio		0,2	
5% (Véase Anexo 14)	1	17,36	0,4	0,000
	2	16,25	0,4	
	Promedio		0,4	
7.5% (Véase Anexo 15)	1	25,71	0,6	0,000
	2	27,29	0,6	
	Promedio		0,6	
10% (Véase Anexo 16)	1	31,06	0,7	0,000
	2	30,60	0,7	
	Promedio		0,7	

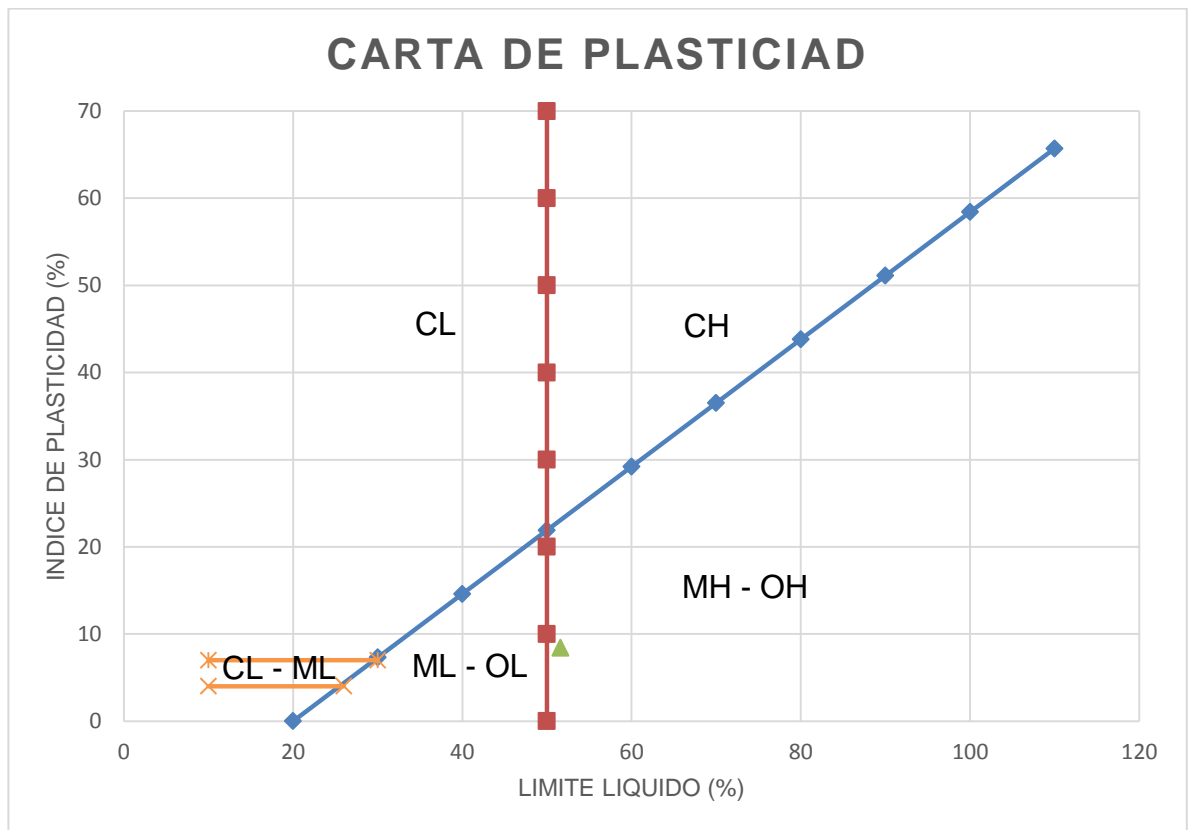
Fuente: Elaboración propia.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Tras realizar todos los ensayos pertinentes al componente fundamental de la mezcla para los bloques de tierra comprimida en esta investigación, se procede con el siguiente análisis, se estableció que el suelo está compuesto por partículas de grano fino, de baja a nula plasticidad, posee una baja resistencia a la compresión, este se clasifica en el sistema unificado de clasificación de suelos como un limo de alta compresibilidad, en la Gráfica 5 se puede observar con un triángulo verde su ubicación en la carta de plasticidad. Por otra parte, el suelo posee un porcentaje de materia orgánica considerable, lo cual afecta sus propiedades mecánicas, lo cual hace que sea adecuado para esta investigación, en cuanto a su distribución granulométrica se considera apropiada ya que tiene distribuidos proporcionalmente sus partículas en un rango de tamaños entre 10 y 100 micras. Por ultimo cabe resaltar que su gravedad específica se encuentra de los valores acordes a un suelo derivado de cenizas volcánicas.

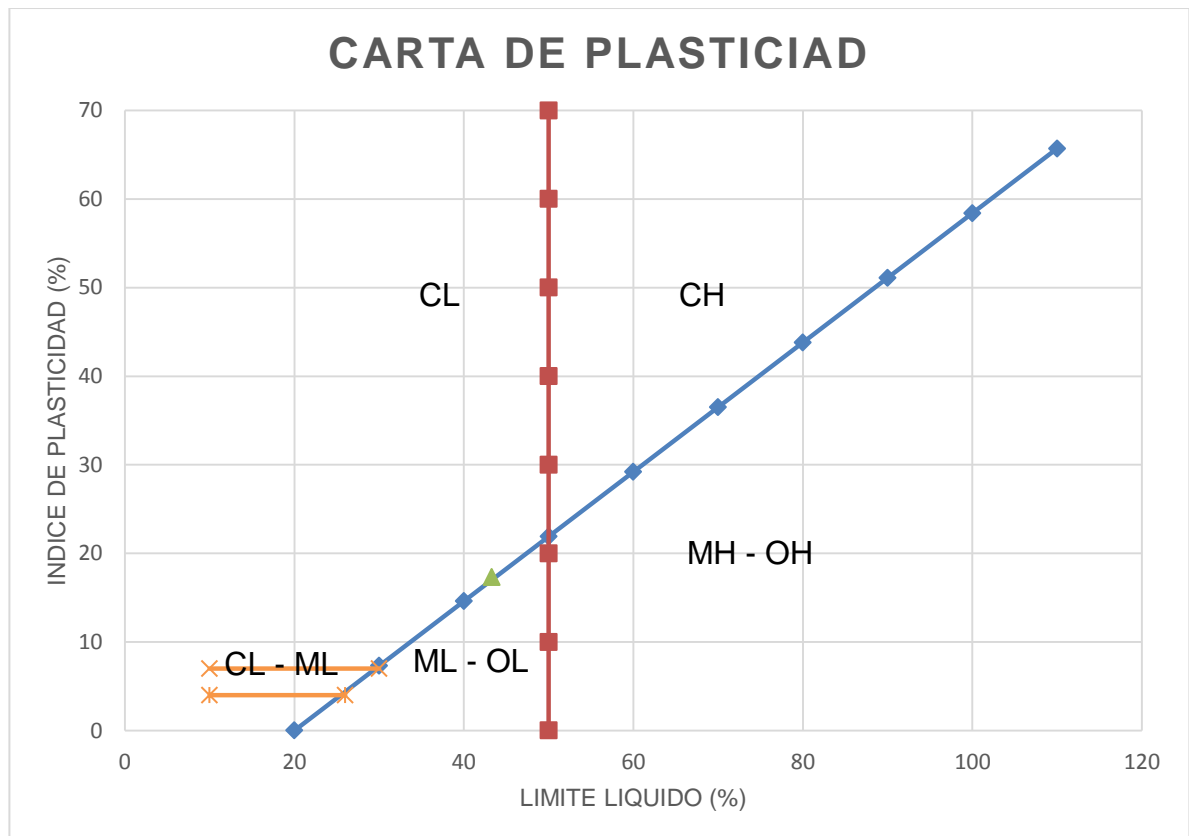
Gráfica 5. Ubicación del limo de alta compresibilidad en la carta de plasticidad.



Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de determinar las propiedades del material usado como agregado para la mezcla de los BTC en la presente investigación se infirió por medio de una inspección visual que podría tratarse de un suelo arcilloso debido a su características físicas como lo es el color rojizo y el hecho de que no se percibía con certeza el tamaño de sus partículas, después mediante una identificación manual se ratificó esta creencia al palpar su alto nivel de plasticidad, consecuencia de un contenido de humedad elevado, esto está relacionado directamente con la fuerza de cohesión entre sus partículas, comprobado al ver que no se desmorona fácil ante la presión de los dedos, en base a ello se consideró un material apropiado para ser usado en la mezcla de los BTC por sus características aglomerantes, es por esto que se le realizaron las pruebas necesarias para su caracterización (límites de Atterberg) dando el resultado de un suelo definido como arcilla de baja compresibilidad en la carta de plasticidad (ver Gráfica 6), lo cual es apropiado para la mezcla ya que le puede aportar ductilidad al BTC.

Gráfica 6. Ubicación arcilla de baja compresibilidad en la carta de plasticidad.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados arrojados en la prueba de granulometría aplicados al escombro de concreto muestran un material compuesto en un 80% por una fracción gruesa,

donde predominan partículas con un tamaño de 3/8" o lo que es igual 9,52 mm seguidas de un tamaño de 3/4" o 19,05 mm mientras que el 20% restante lo conforman partículas con un tamaño inferior a 4.75 mm, estas observaciones se ven comprobadas con los coeficientes de curvatura y uniformidad, los cuales indican que el material no está bien gradado, es decir, no existe una buena distribución de los tamaños de las partículas, sin embargo esto no quiere decir que sea contraproducente para la elaboración de los BTC. En cuanto al valor de su gravedad específica los investigadores consideran que los resultados obtenidos se encuentran dentro de un rango normal, considerando que va ser utilizado como agregado grueso, sin embargo, este material presenta un porcentaje de absorción muy elevado, lo cual indica que al momento de realizar la mezcla de los bloques este dato deberá considerado para dosificar adecuadamente.

8.2. RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS DEL SUELO CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE CAL

Después de haber realizado las pruebas a compresión no confinada de las probetas de suelo con los porcentajes que mejor resultado arrojaron en la investigación anterior de Ricardo Andrés Giraldo Sánchez y Mariana Ríos La-Rotta⁶⁰. En la Tabla 7 se observa que los resultados obtenidos presentan un aumento en la resistencia de 0,40 MPa al comparar sus valores medios, esto equivale a un aumento en sus propiedades mecánicas del 68% al aumentar la dosificación de cal de 4,0% a 4,5%, este cambio se ve reflejado al comparar las Gráficas 1 y 2, producto de este aumento, la mezcla pierde rigidez.

Una observación a los resultados del ensayo se debe destacar que el contenido de humedad de los especímenes compactados de suelo-cal se encontraba muy por encima de la humedad óptima del suelo, lo cual no es apropiado para las pruebas ya que esto afecta la posibilidad de obtener mejores resultados.

Tras un análisis estadístico de las muestras podemos observar que el primer grupo de muestras que se ensayaron con un tratamiento de 4,0% de cal se tiene una desviación estándar baja, quiere decir que hay poca varianza entre los resultados, mientras que en el segundo grupo de probetas sometidas a un tratamiento de 4,5%, la desviación estándar aumenta considerablemente debido al resultado obtenido en la probeta N°2, el cual difiere de los otros dos, siendo el más bajo de toda la serie de probetas que se ensayaron, esto puede ser consecuencia de diversos factores tales como: baja humedad al momento del ensayo, la cara transversal del espécimen no se encontraba bien enraizada o alguno de los

⁶⁰ GIRALDO SÁNCHEZ, Ricardo Andrés; LA-ROTTA RÍOS, Mariana. ROTTA Determinación de los parámetros mecánicos en suelos limo arenosos extraídos en la zona de expansión urbana de Pereira estabilizados con cal para cimentaciones. Universidad Libre Seccional Pereira. 2015.

extremos del espécimen se alejaba de la perpendicularidad del eje en más de 0,5°.

8.3. RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES COMPACTADOS DE SUELO CON ADICIÓN DE CAL Y DIFERENTES DOSIFICACIONES DE ARCILLA

Una vez obtenidos los resultados de la cuarta fase de la investigación y sintetizados en la Tabla 8, vemos nuevamente que el porcentaje óptimo del material evaluado a utilizar en la mezcla de los BTC es el más elevado de ambos tratamientos, similar a las pruebas con cal, en este caso se presentó un aumento de 0,76 MPa entre los valores medios, equivalente a un aumento de 84% en sus propiedades mecánicas. Al analizar las gráficas es apreciable como la adición de arcilla le aporta ductilidad a la mezcla, permitiendo prolongar la deformación en el rango inelástico antes de la falla.

Al realizar una comparación de la resistencia a la compresión no confinada de las mezclas suelo-cal vs suelo-cal-arcilla vemos que con una adición pobre de arcilla como se efectuó en el primer grupo del ensayo, genera un impacto negativo a sus propiedades mecánicas, incluso contrarrestando el aumento de la resistencia debido a la presencia de cal, arrojando los resultados más bajos de ambas series.

Al igual que en las pruebas anteriores, no fue posible controlar la absorción de agua por parte de los especímenes para el ensayo, sin embargo, su contenido de humedad fue menor que en los ensayos realizados en la fase previa, aunque esto no deje de afectar la posibilidad de obtener mejores resultados.

El análisis estadístico indica que los resultados obtenidos en toda la serie son confiables, ya que los esfuerzos de falla obtenidos en cada grupo se encuentran dentro de un margen estrecho entre sí, es decir que presenta poca varianza en los resultados.

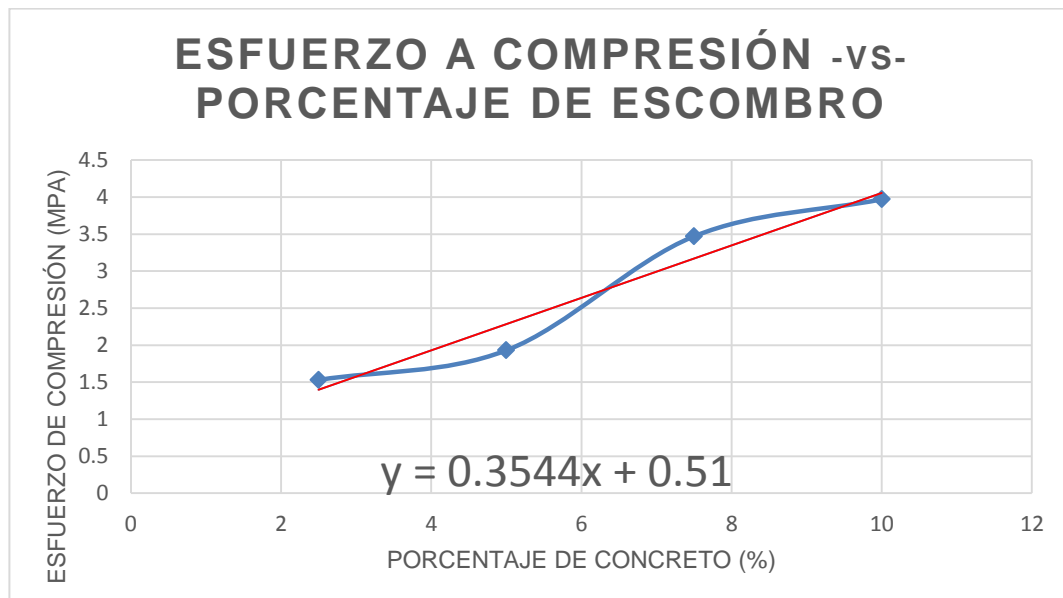
8.4. RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Una vez realizados los bloques de suelo-cal-arcilla con adición de escombro de concreto se le realizó una caracterización similar a los bloques de suelo cemento como lo describe la norma NTC 3524, revisando primero las tolerancias admitidas entre uno y otro bloque con respecto a sus dimensiones, encontrando que todos poseen un largo y ancho dentro de los rangos permitidos en la tabla 1 de la norma, sin embargo, el alto de estos bloques no cumple dicho requisito; estos bloques pueden ser ordinarios (destinados a estar recubiertos por una protección cualquiera) o de paramento (destinados a quedar expuestos) según el acabado de

los mismos, ya que puede variar de uno a otro, están destinados a ser usados en un medio seco.

Tras observar los resultados entregados por el laboratorio Geotecnia ingeniería S.A.S. de los bloques de tierra comprimida con cuatro dosificaciones diferentes de escombros de concreto se determina que existe una relación directamente proporcional entre la resistencia a la compresión y la cantidad de escombros de concreto agregado a la mezcla, esta relación está representada por la función $Y = 0,3544X + 0,51$ donde la variable “Y” es el esfuerzo a la compresión y la variable “X” el porcentaje de escombros que se le agrega a la mezcla, tal relación puede ser apreciada en la Gráfica 7, donde se puede observar un aumento de 2,44 MPa de la resistencia a la compresión entre el primer tratamiento de 2,5% hasta el último de 10% al comparar el promedio obtenido en ambos grupos, esto equivale a un aumento de 160% en sus propiedades mecánicas, llegando a una resistencia máxima de 4 MPa usando una dosificación de 65,5% de suelo, 4,5% de cal hidratada, 20% de arcilla de baja compresibilidad y 10% de escombros de concreto lo cual se considera un resultado favorable, ya que cumple la resistencia mínima (2MPa) requerida por la norma NTC 5324 para bloques similares compuestos de suelo-cemento dispuestos a ser utilizados en un medio seco, categoría BSC 20⁶¹, sin embargo, con los resultados obtenidos los investigadores opinan que mediante un control de calidad más riguroso en la producción podría cumplir con la especificación necesaria para ser clasificado como BSC 40.

Gráfica 7. Esfuerzo a compresión -vs- porcentaje de escombros.



Fuente: Elaboración propia.

⁶¹ NTC- Norma técnica Colombiana 5324, Bloques de suelo cemento para muros y divisiones.

Al comparar los resultados de la presente investigación con los resultados obtenidos en investigaciones previas realizadas en la misma zona por estudiantes de la Universidad Libre Seccional Pereira, los cuales mediante la adición de escombro de ladrillo y cal; o cemento y arcilla, hasta la más similar a la nuestra, con escombro de concreto y cemento, queriendo comprobar la misma hipótesis obtuvieron resultados positivos pero sin la suficiente contundencia hasta el momento, ya que no cumplían con la resistencia mínima a la compresión establecida por la NTC 5324 (2 MPa), con resultados de 0,4 MPa en bloques individuales y 0.7 MPa en muretes para ambas investigaciones. Sin embargo, esto cambia a partir de esta investigación, la cual deja las puertas abiertas a quien desee continuar con ella, experimentando con dosificaciones de escombro de concreto diferentes (no cubiertas por la presente investigación) por ejemplo.

Claro está, que en otras regiones se han adelantado estudios al respecto de este tema, llegando a resultados semejantes como es el caso de Olga Nallive Yepes Gaviria y Carlos Mauricio Bedoya Montoya⁶² mediante la utilización de geopolímeros, sin embargo, ni siquiera nuestro mejor resultado (4,0MPa) no supera los resultados obtenidos por Botero en el 2015 de 5,34MPa con una mezcla de 25% tierra + 5% cemento + 70% escombro.

Estudios internacionales también han arrojado resultados similares. En el 2015 estudiantes peruanos utilizaron año la cascara de arroz, dando resultados favorables, con una resistencia promedio de 2.85 MPa para un porcentaje de cáscara de arroz del 10%.⁶³ Una investigación anteriormente citada, elaborada en España en el año 2011 mostró el siguiente comportamiento de los bloques:

- ✓ Mezcla de 15% cemento = Resistencia a compresión a los 96 días = 14,4 MPa.
- ✓ Mezcla de 15% cal hidráulica = Resistencia a compresión a los 96 días = 14,1 MPa.
- ✓ Mezcla de 5% cal hidráulica = Resistencia a compresión a los 96 días = 12,2 MPa.
- ✓ Mezcla de 5% cemento = Resistencia a compresión a los 96 días = 13 MPa.⁶⁴

Incluso, algunas investigaciones en las cuales no se ha utilizado ningún tipo de material alternativo para la fabricación de los bloques se han logrado obtener resultados que se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma; tal

⁶² YEPES GAVIRIA, Olga Nallive y BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. El bloque de suelo cemento (bsc) al bloque de suelo geopolimerizado (bsg). Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Medellín. 2013. p.77.

⁶³ AGÜERO, Johnny; CERÓN, Javier; GONZALEZ, Juan Carlos y MENDEZ, María Teresa. Análisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de aparejo. Universidad Ricardo Palma, Perú. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA (15°: 2015: Ecuador).

⁶⁴ LAGUNA C María, Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción, 2011. España.

es el caso de Martínez Gaytan⁶⁵, Fernando Galíndez⁶⁶ de la Universidad de Sata, y Jean-Claude Morel⁶⁷ de Inglaterra quienes obtuvieron resultados mayores a los exigidos por la norma (de entre 5.3 y 6 MPa aproximadamente)

8.5. RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DE LOS MURETES ELABORADOS A PARTIR DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA

Se observó que la resistencia a la compresión de los bloques de tierra comprimida no es la misma cuando son ensayados de manera individual que en forma de murete, reduciendo la resistencia a la compresión al 18% en comparación con las pruebas realizadas de manera individual, sin importar la dosificación de la que se tratase, este fenómeno puede ser la causa de diversos factores tales como: una mala disposición (debido a que no se construyeron intercalados), golpes, fisuras producidas durante su transporte, mal curado de los mismos, o por el cambio en la relación de esbeltez de estos.

Comparando los resultados obtenidos en la presente investigación con otros estudios realizados previamente por terceros, vemos que en el caso en el caso de Camilo Escobar Galvis, Juan Sebastián León Gómez y Vanessa Salazar Bedoya⁶⁸ en su estudio “bloques de tierra comprimida con adición de residuos de concreto y cemento como solución sostenible para la construcción de muros no estructurales” sus resultados fueron muy similares en cuanto muretes, así su comportamiento fuera inestable y no incrementara de manera gradual como en el caso de nuestra investigación, por otra parte puede describirse lo mismo al compararlo con la investigación realizada por Jhon Edward Echeverry Correa y Camilo Jaramillo Valencia⁶⁹ en su estudio “elaboración de (BTC) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos”.

⁶⁵ MARTÍNEZ GAYTAN, I. Hacia la determinación de la viabilidad ambiental de los sistemas constructivos: el caso de los BTC en la zona central de la República mexicana. Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studies. 2012. P. 1.

⁶⁶ GALINDEZ, Fernando. Fabricación de mampuestos tipo btc sin añadir cemento, logrando buenas cualidades físicas y mecánicas, con el menor costo energético posible. En: Seguridad y medio ambiente. Septiembre, 2009. no. 145. p. 64-73.

⁶⁷ MOREL, Jean-Claude, PKLA, Abalo y WALKER, Peter. Compressive strength testing of compressed earth blocks. En Construction and Building Materials 200, p. 303-309.

⁶⁸ ESCOBAR, Camilo; LEÓN, Juan Sebastián; SALAZAR, Vanessa. Bloques de tierra comprimida con adición de residuos de concreto y cemento como solución sostenible para la construcción de muros no estructurales. Universidad Libre Seccional Pereira - Colombia, 2016.

⁶⁹ ECHEVERRY, Jhon Edwar; JARAMILLO, Camilo. Elaboración de (btc) bloques de tierra comprimida con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales alternativos. Universidad Libre Seccional Pereira - Colombia, 2017.

9. CONCLUSIONES

- ✓ Según la norma INVIAS 152 (Compresión inconfiada en muestras de suelos), las probetas obtuvieron un resultado bueno, teniendo en cuenta que la resistencia más baja obtenida fue de 0.44 MPa, y según la norma, está clasificado entre el rango de “Muy Firme” (de 200 a 400 KPa), llegando la mayoría de probetas a una clasificación de “Dura”.
- ✓ A medida que se aumenta el porcentaje de todos los materiales adicionados al suelo, se aumenta la resistencia de los bloques. Los porcentajes que arrojaron mejores resultados fueron: Cal (4.5%), arcilla (20%) y escombros de concreto (10%).
- ✓ La resistencia a la compresión de los bloques elaborados con la dosificación anterior alcanzó la mínima exigida por la norma NTC 5324, la cual corresponde a 2 MPa. Estos BTC obtuvieron un promedio de 3.97 MPa, lo que los acerca a una clasificación intermedia BSC 40 según la norma. Sin embargo, los muretes no tuvieron resultados favorables, estando éstos alrededor de los 0.7 MPa.
- ✓ Se elaboró un protocolo semi estandarizado en donde se muestra el procedimiento que se debe llevar a cabo para la fabricación de BTC con las dosificaciones y tipo de suelo empleados en esta investigación.
- ✓ Los BTC pueden llegar a ser un sistema constructivo no estructural seguro, ecológico y económico si se siguen adelantando investigaciones que busquen aumentar sus características de resistencia y facilidad de elaboración.

10.RECOMENDACIONES

- ✓ Es recomendable realizar próximas investigaciones en las cuales se aumenten o se amplíen los rangos de porcentajes de cal, arcilla y escombro de concreto a los BTC con el fin de obtener mayores resultados de resistencia.
- ✓ Para mayor eficacia a la hora de operar el equipo CINVA RAM, se recomienda que éste se encuentre empotrado o asegurado de tal manera que impida el movimiento, ya que, al estar libre es difícil realizar el movimiento de palanca que se requiere sin desestabilizarse.
- ✓ Una vez se hayan realizado los BTC, es de suma importancia mantenerlos humedecidos, ya que la pérdida de humedad genera agrietamiento y debilitamiento sobre todo en las esquinas del bloque, afectando su resistencia y dificultando su manipulación.
- ✓ Para una mayor resistencia de los muretes, se recomienda realizarlos en posición alternada o trabada.
- ✓ El equipo utilizado para fallar los muretes, es el mismo que se usa para el ensayo a cilindros o bloques individuales, por lo que se recomienda utilizar un equipo que cubra mayor área con el fin de evitar que la carga sea aplicada solo en un lugar del murete generando algún tipo de momento flector que afecte el resultado del ensayo.
- ✓ A pesar de que los muretes elaborados con BTC de esta investigación no son estructurales, se debe comparar su resistencia con la norma NTC 5324, la cual describe con mayor similitud los parámetros requeridos para la construcción de muros divisorios (no estructurales).

11. BIBLIOGRAFÍA

AGÜERO, Johnny; CERÓN, Javier; GONZALEZ, Juan Carlos y MENDEZ, María Teresa. 2015. Análisis estructural de dos muros de adobe con diferente sistema de aparejo. Universidad Ricardo Palma, Perú. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA.

ALEGRÍA, Fernando. 2011. [En línea] Disponible en <<https://es.scribd.com/doc/67064873/Tabla-de-Dosificacion-Concretos-y-Morteros>>

ALONSO, Eduardo. Suelos compactados en la teoría y en la práctica. [En línea] Disponible en <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779573409891/SuelosCompTeoPrat.pdf>> [Citado el: 25 de octubre de 2017.]. p.1.

ALVARADO, M. L. E., MARTÍNEZ, F. L; ELIZONDO, R. T. 2017. Hidróxido de calcio. Revista Mexicana de Estomatología. p. 39-40.

Anónimo. (2011). Sistema USCS de clasificación de suelos [figura]. Recuperado de <https://mecanicadesuelos.files.wordpress.com/2011/03/clasif1.png>

ARTEAGA, Karen Tatiana; MEDINA, Oscar Humberto; GUTIERREZ, Oscar Javier. 2011. Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Revista Facultad de Ingeniería, UPTC. Vol. 20, No. 31. p. 55

BESTRATEN, Sandra y HORMIAS, Emilio. Bloques de tierra comprimida en el proyecto del centro del adulto mayor de san José de chiquitos, Bolivia.

BORGES, Obede. 2011. Técnicas de construcción con tierra-Identificación y selección de suelos. Brasil. pag. 12.

CABALLERO, Magdaleno; SANTOS, Silva y MONTES, José. Resistencia Mecánica del Adobe Compactado Incrementada por Bagazo de Agave. 2010. [En línea] Disponible en <http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2010/A3/A3_221.pdf> [Citado el: 03 de noviembre de 2017.]. p.2.

CARDONA, Alejandra, *et al.* 2015. Universidad Libre Seccional de Pereira.

CEMPRE. 2008. Manual de gestión integral. Uruguay. p. 25.

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL. [En línea] Disponible en <http://anfagal.org/media/Biblioteca_Digital/Construccion/Estabilizacion_de_Suelos/Estabilizacion_de_suelos_con_cal-REBASA-PresentacionA.pdf> [Citado el 30 de octubre de 2017].

FALCETO, J; RUIZ MAZARRON, F; GUERRERO CAÑAS, I. 2011. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Informes de la construcción revista de información técnica. p. 159-169.

GALÍNDEZ, Fernando. Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento.2001. Universidad Católica de Salta. Facultad de Arquitectura. p. 3.

GARCIA, Adriana Beatriz; MAZZEO, Juan Pablo; MARTINEZ. Armenis G. 2011. Metodología de control de calidad en producción de paneles con suelos estabilizado. Universidad Tecnológica Nacional – Argentina. En: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION CON TIERRA.

GIRALDO SÁNCHEZ, Ricardo Andrés; LA-ROTTA RÍOS, Mariana. 2015. Determinación de los parámetros mecánicos en suelos limo arenosos extraídos en la zona de expansión urbana de Pereira estabilizados con cal para cimentaciones. Universidad Libre Seccional Pereira.

GONZALEZ, Andrés. Cemento-Concreto espacio y materialidad. 2011. [En línea] Disponible en <<http://es.slideshare.net/archieg/concreto-8189329>>. [Citado el 28 de octubre de 2017]. p.10.

HERNANDEZ, V; BOTERO, L. F; CARVAJAL Arango, D. 2015. Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. p. 197-220.

JARAMILLO PÉREZ, E. R., Plata-Chaves, J. M., & Ríos-Reyes, C. A. 2014. The use of gypsum mining by-product and lime on the engineering properties of compressed earth blocks. Dyna,). p. 42-51.

INSTITUTO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL ARGENTINA. 2008. Boletines Temáticos: Cenizas volcánicas. [En línea] Disponible en <<http://www.ibepi.org/wp-content/uploads/2014/12/Cenizas1.pdf>>. [Citado el 30 de octubre de 2017].

LAGUNA C María. 2011. Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. España.

LIZCANO; HERRERA; SANTAMARINA. 2016. Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. [En línea] Disponible en < <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/116/115>. > [Citado el: 27 de octubre de 2017.]. p.1.

LOBO MORALES, *et al.* 2015. Determinación de la resistencia a compresión de los bloques de tierra comprimida adicionada con un 17,5% de escombros de ladrillo y cal. Universidad Libre Seccional de Pereira.

MARTÍNEZ GAYTAN, I. 2012. Hacia la determinación de la viabilidad ambiental de los sistemas constructivos: el caso de los BTC en la zona central de la República mexicana. Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural-Journal of Cultural Heritage Studie. p.1.

MAZARRÓN; CAÑAS. 2011. Las normativas de construcción con tierra en el mundo. Informes de la Construcción. Vol. 63. p.1.

MOLINA, Gloria Milena, *et al.* 2015. Universidad Libre Seccional Pereira – Colombia.

MOREL, Jean-Claude, PKLA, Abalo y WALKER, Peter. Compressive strength testing of compressed earth blocks. En Construction and Building Materials 200, p. 303-309.

NEVES, Celia M. 2015. Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra - prácticas de campo Brasil. p. 6.

NEVES, Celia; MILANI, Ana Paula. 2011. TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN CON TIERRA. Brasil. p. 35.

Ofi 5.com. [En línea] Disponible en < <https://ofi5.com/producto/guantes-esteril-en-latex-de-7-12-empaque-individual/>

PONS, Gabriel. La tierra como material de construcción. 2016. [En línea] Disponible en

<http://ieham.org/html/docs/La_tierra_como_material_de_construcion.pdf> [Citado el 28 de octubre de 2017].

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO
TECNOLOGIAS EN LA ERRADICACION DE LA POBREZA. Cinva – Ram
Máquina Para Fabricar Bloques De Suelo – Cemento. Bogotá.

REVISTA ARQUIS. 2012. Estabilización de suelos. [En línea] Disponible en
<<http://www.arqhys.com/articulos/suelos-estabilizacion.html>> [Citado el: 03 de
noviembre de 2017]. p.1.

SORIA, F; GUERRERO, L; LARRONDO, M. 2013. “TÉCNICAS DE
CONSTRUCCIÓN CON TIERRA. DESARROLLO DE PROTOTIPO
EXPERIMENTAL.” En: Construcción con tierra. Pasado, presente y futuro.
Congreso de Arquitectura de tierra en Cuenca de Campos 2012. [En línea]
Disponible en <<http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2013/29in-soria.pdf>>

Tierra al Sur, sistemas constructivos. [En línea] Disponible en
<<http://www.tierraalsur.com/s-constructivos/btc>>

UNITEC. Investigación Sobre La Resistencia Al Corte De Suelos. [En línea]
Disponible en <<https://mecanicadesuelos1unitec.wordpress.com/ensayo-compresion-simple/>> [Citado el: 03 de noviembre de 2017.]. p.1.

VÁSQUEZ, Alejandro; BOTERO, Luis Fernando; CARVAJAL, David. 2015.
Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de
construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. ing.
cienc. vol. 11. p. 197.

YEPES GAVIRIA, Olga Nallive y BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. 2013. El
bloque de suelo cemento (bsc) al bloque de suelo geopolimerizado (bsg).
Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Medellín. p.77.