

Tecnología en construcciones arquitectónicas

Bogotá – Colombia 2018

Presentado por:

Sergio Erick Culma Gómez

Astrid Carolina Rojas Parra

Angie Dayan Redondo Rojas

Universidad la Gran Colombia

Facultad de Arquitectura

Tecnología en construcciones arquitectónicas

Bogotá – Colombia 2018

Universidad la Gran Colombia

Facultad de arquitectura

Tecnología en construcciones arquitectónicas

Trabajo de grado como requisito parcial para optar título de:

Tecnólogo en construcciones arquitectónicas

Mejoramiento del recubrimiento en construcciones de bahareque, por clasificación  
granulométrica.

Caso de estudio, Comunidad indígena Amoyá, vereda La Virginia, Chaparral Tolima

Presentado por:

Sergio Erick Culma Gómez

Astrid Carolina Rojas Parra

Angie Dayan Redondo Rojas

Director de proyecto:

Arquitecto. Walter Mauricio Barreto Castillo

Línea de investigación:

Hábitat tecnológico y constructivo

Bogotá, Colombia 2018

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

*Observaciones*

---

---

---

---

---

---

---

*Firma Director Trabajo de Grado*

---

*Firma del presidente jurado*

---

*Firma del jurado*

---

*Firma del jurado*

*Ciudad Bogotá, \_de diciembre del 2018*

## **Agradecimientos**

Agradecemos sinceramente a todas las personas que nos apoyaron en este proceso tan importante para nuestra vida profesional.

A nuestros padres, quienes creyeron en nosotros y nos ofrecieron su confianza y nos facilitaron los recursos para hacer de este proyecto una realidad.

A nuestro docente director, el arquitecto Walter Mauricio Barreto, por acompañarnos en el desarrollo de esta investigación y proveernos sus conocimientos a favor de nuestro crecimiento como estudiantes y para la consumación exitosa de este proyecto.

A nuestros docentes tutores, quienes nos ayudaron a germinar la idea de trabajo y que gracias a sus aportes pudimos concluir nuestra investigación.

Gracias a todos aquellos quienes nos apoyaron, patrocinaron y se preocuparon por nosotros y nuestro proyecto.

## Resumen

Las construcciones indígenas, cuentan con una arquitectura única y especial dependiendo del sitio y las costumbres de la comunidad, varían los materiales y las técnicas, por lo que son consideradas patrimonio en diferentes zonas del país. Las viviendas construidas por la comunidad indígena Amoyá (vereda La Virginia, en Chaparral, Tolima) se caracterizan por ser en bahareque tradicional, con estructuras en guadua y madera rolliza local.

Actualmente las viviendas de la comunidad realizadas con este método, presentan daños causados en su mayoría por falta de técnica en su construcción, además de los agentes climáticos y bióticos que son muy predominantes en la región. Uno de los mayores problemas es la caída del recubrimiento que trae como consecuencia afecciones en la estructura de la edificación, disminuyendo su resistencia y su vida útil.

Con el propósito de mejorar el recubrimiento del bahareque y evitar futuras lesiones en las viviendas a causa de este problema, se realizó el presente estudio, mediante el método investigativo-experimental, de las lesiones y características más importantes de las viviendas construidas en bahareque tradicional por la comunidad, identificadas en la salida de campo, en donde se tomaron algunas muestras de tierra y registro fotográfico de las edificaciones.

Se analizó el registro fotográfico, obteniendo los principales problemas constructivos y materiales predominantes en las construcciones. Se realizaron las debidas pruebas en las muestras de tierra traídas de la zona de estudio, se analizaron y concluyeron los resultados, de allí partió la investigación conceptual que permitió desarrollar una respuesta a la hipótesis sobre la cual se desarrollaron los objetivos del presente proyecto.

En las pruebas realizadas a la tierra se observó que la baja cantidad de material arcilloso y la abundante presencia de arenas, provocaban que el material de revoque no contará con la suficiente adherencia y por esto con el paso del tiempo se presenten desgastes, fisura y caída del recubrimiento.

A partir de estas observaciones se determinó que las propiedades de la tierra mejorarían si pasa por un proceso de separación granulométrica, aumentando el porcentaje de material fino, teoría que se confirmó en la prueba de contracción volumétrica en la cual se utilizó tierra bien tamizada y como resultado se obtuvo una pastilla firme, compacta y muy resistente.

Se desarrollaron más pruebas acerca de la extracción granulométrica de las arcillas finas, ya que el propósito era generar una mezcla consistente para el revoque del bahareque que no presentara daños o lesiones como las evidenciadas en la salida de campo.

Finalmente se elaboraron dos modelos de prueba que permitieron determinar el comportamiento respecto al proceso tradicional de la comunidad y el propuesto en la presente investigación; se implementó una ficha de seguimiento para consignar los datos resultantes de la construcción de los modelos y de allí se concluyó que, llevando a cabo un proceso de selección granulométrica, teniendo en cuenta el espesor de capas y agregando fibras naturales a la mezcla final para el pañete en estructuras de bahareque, puede aumentar significativamente su funcionalidad y eficiencia.

Palabras clave: Bahareque tradicional, sistema constructivo, adherencia, propiedades, revestimiento, acabado, granulometría, tierra, arcilla, limos.

## **Abstract**

The native constructions have a unique and special architecture depending on the place and customs of the community. The materials and techniques are varied, so they are considered heritage in different areas of the country. The housings built by the Amoyá native community (La Virginia, rural district in Chaparral, Tolima) are characterized by being made of traditional bahareque, with guadua structures and local round wood.

Nowadays, the community housings built with this method, present damages caused mostly by lack of technique in their construction, in addition to the climatic and biotic agents that are prevalent in the region. One of the biggest problems is the detachment of the coating that brings as a consequence, harms in the structure of the building, decreasing its endurance and lifetime.

In order to improve the coating of the bahareque and avoid future injuries in the housings because of this problem, the present study was made, through the investigative-analytical method, about the most important injuries and characteristics of the housings built in traditional bahareque by the community, identified in the field trip, where some land samples and photographic record of the buildings were taken.

The photographic record was analyzed, defining the main constructive problems and predominant materials in the constructions. The appropriate tests with the land samples brought from the study area were carried out, the results were analyzed and concluded, hence the conceptual research that led to the development of a response to the hypothesis on which the objectives of the present project were developed.

In the tests made to the land samples, it was observed that the low amount of clayey material and the abundant presence of sands, caused that the plaster material did not have enough adhesion and therefore with the passing of time there are wear, fissure and detachment of the coating.

From these observations it was determined that the properties of the soil would improve if it goes through a granulometric separation process, increasing the percentage of fine material, a theory that was confirmed in the volumetric contraction test in which well sieved earth was used and the result was a firm, compact and very resistant plaster.

More testings about the granulometric extraction of fine clays were developed, since the purpose was to generate a consistent mixture for the plaster of the bahareque that did not present damages or injuries as those evidenced in the field trip.

Finally, two test models were elaborated that allowed us to dictate the behaviors with respect to the traditional process of the community and the one proposed in the present investigation; a monitoring form was implemented to record the resulting data from the construction of the models and it was concluded that by carrying out a granulometric selection process, the final mix for the coat of plaster in bahareque structures can significantly increase its adherence and efficiency.

**Keywords:** Traditional bahareque, construction system, adhesion, properties, coating, finishing, granulometry, earth, clay, silt.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
JUSTIFICACIÓN .....	17
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
OBJETIVO GENERAL .....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>19</b>
MARCO TEÓRICO .....	19
MARCO CONCEPTUAL .....	25
<i>Composición del suelo .....</i>	<i>25</i>
<i>Componentes de la tierra .....</i>	<i>27</i>
<i>Bahareque tradicional.....</i>	<i>28</i>
<i>Pañete en el bahareque tradicional .....</i>	<i>30</i>
<i>Aditivos naturales para el pañete en bahareque .....</i>	<i>33</i>
<i>Protección por gestión de calidad de materia prima .....</i>	<i>35</i>
MARCO NORMATIVO .....	36
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>37</b>
FASE EXPLORATORIA .....	37
<i>Salida De Campo .....</i>	<i>38</i>
<i>Recopilación De Información.....</i>	<i>39</i>
<i>Análisis De Problemáticas .....</i>	<i>40</i>
<i>Toma De Muestras .....</i>	<i>42</i>
<i>Registro Fotográfico .....</i>	<i>43</i>
FASE INVESTIGATIVA.....	43
<i>Consulta Bibliografía .....</i>	<i>44</i>
<i>Aproximación Al Método.....</i>	<i>44</i>
FASE EXPERIMENTAL .....	44
<i>Propiedades organolépticas .....</i>	<i>45</i>
<i>Ensayo sedimentación o decantación uno .....</i>	<i>46</i>
<i>Ensayo de contracción volumétrica.....</i>	<i>47</i>
<i>Ensayo sedimentación o decantación dos.....</i>	<i>48</i>
<i>Ensayo de separación granulométrica - Filtración por tejido.....</i>	<i>49</i>
<i>Ensayo de separación granulométrica - Sustracción del agua .....</i>	<i>50</i>
<i>Ensayo de resistencia a la fisura.....</i>	<i>52</i>
<i>Ensayo decantación para prototipo .....</i>	<i>53</i>
<i>Ensayo de aditivos naturales.....</i>	<i>54</i>
FASE ANALÍTICA .....	60
<i>Análisis de resultados .....</i>	<i>60</i>
<i>Propuesta de mejora .....</i>	<i>60</i>
<i>Desarrollo de prototipo .....</i>	<i>61</i>
<i>Elementos del prototipo .....</i>	<i>62</i>
<i>Aplicación del prototipo .....</i>	<i>63</i>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>

RESULTADOS DE PRUEBAS.....	65
<i>Sedimentación o decantación uno</i> .....	65
<i>Contracción volumétrica</i> .....	65
<i>Sedimentación o decantación dos</i> .....	65
<i>Separación granulométrica - Filtración por tejido</i> .....	65
<i>Separación granulométrica - Sustracción del agua</i> .....	65
<i>Ensayo de resistencia a la fisura</i> .....	66
<i>Ensayo decantación para prototipo</i> .....	66
<i>Ensayo de aditivos naturales</i> .....	66
<i>Aplicación del prototipo</i> .....	66
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	67
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>68</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>70</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>71</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** clasificación internacional Atterberg.

**Tabla 2.** Manifestaciones típicas de las patologías de la construcción en bahareque.

**Tabla 3.** Distribución de viviendas según tipos de materiales y recubrimiento.

**Tabla 4.** Pruebas de propiedades organolépticas.

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Tipos de arcilla.

**Figura 2.** Arcilla extraída por lixiviación.

**Figura 3.** Sedimentación.

**Figura 4.** Granulometría.

**Figura 5.** Construcción tradicional en bahareque, vereda la Virginia

**Figura 6.** Construcción tradicional en bahareque, vereda la Virginia.

**Figura 7.** Granulometría de la tierra.

**Figura 8.** Granulometría de la tierra.

**Figura 9.** Principios de una comunidad indígena.

**Figura 10.** Granulometría de la tierra.

**Figura 11.** Elaboración paso a paso de recubrimiento en construcciones de bahareque.

**Figura 12.** Adherencia mecánica.

**Figura 13.** Granulometría de la tierra.

**Figura 14.** Metodología del Proyecto.

**Figura 15.** Ubicación de lugar.

**Figura 16.** Construcción de bahareque tradicional de la comunidad

**Figura 17.** Construcción de bahareque tradicional de la comunidad.

**Figura 18.** Análisis de problemática.

**Figura 19.** Recolección de muestras de tierra

**Figura 20.** Ensayo de decantación o sedimentación uno

**Figura 21.** Ensayo contracción volumétrica.

**Figura 22.** Ensayo de decantación o sedimentación dos.

**Figura 23.** Vista microscópica pieza de tela.

**Figura 23.** Vista microscópica pieza de tela.

**Figura 24.** Separación granulométrica – levigación - extracción de liquido

**Figura 25.** Vista microscópica de polvo arcilloso.

**Figura 26.** Ensayo resistencia a la fisura.

**Figura 27.** Decantación tierra de Mondoñedo.

**Figura 28.** Ensayo de aditivos naturales.

**Figura 29.** Mezcla con clara de huevo.

**Figura 30.** Mezcla con cascarilla de arroz.

**Figura 31.** Mezcla con sábila.

**Figura 32.** Mezcla con jabón de tierra.

**Figura 33.** Mezcla tamizada 1 mm.

**Figura 34.** Dimensiones del prototipo.

**Figura 35.** Elementos del prototipo.

**Figura 36.** Prototipo final.

## INTRODUCCIÓN

La comunidad indígena Amoyá, tiene raíces de la tribu Pijao, quienes, dentro de su arquitectura típica, destaca el uso de guadua nativa de la región en casi todas sus estructuras, junto con madera rolliza local y la construcción de viviendas en bahareque tradicional, dicha herencia se quiere conservar en el proyecto que consiste en la construcción de un centro multipropósito que preste el servicio de etnoeducación y etnoturismo, en busca reavivar las costumbre de sus antepasados y preservar sus tradiciones presentes, por esta razón se pretende hacer del bahareque tradicional la técnica predominante en la edificación.

El bahareque tradicional, presente en las construcciones de la comunidad indígena Amoyá, está caracterizado por utilizar madera rolliza y/o guadua como elementos de estructura y caña pindo para el entramado; según el vicegobernador de la comunidad José Roberto Quijano (entrevista privada, 2 de octubre de 2018), utilizan tierra del lugar, agua y usan el ganado para apisonar la mezcla hasta conseguir la textura deseada, además adicionan excremento de vaca en conjunto con la tierra para darle mayor adherencia al pañete.

En una población de aproximadamente 37 familias que cobija 168 personas de la comunidad Amoyá, se refleja cómo a través del tiempo se han generado cambios en el recubrimiento de las construcciones en bahareque, donde es necesario resolver el desmoronamiento del pañete, con el fin de implementar la técnica mejorada en el centro multipropósito en la zona mencionada. En este caso, se pretende profundizar en el análisis e identificación de las causas que genera el desgaste y caída del recubrimiento del bahareque para lograr una solución mediante la selección por granulometría de las arcillas más finas encontradas en la tierra del lugar, que ayude a conservar el bahareque a través del tiempo en la comunidad indígena Amoyá. Para lograr eficiencia, se llevó a cabo estudios experimentales cuyos resultados acerca de la composición de la tierra, además de buscar respuesta a la hipótesis en la cual se basa esta investigación, lo que permitió desarrollar una propuesta de mejora a la técnica tradicional de construcción de la comunidad, mediante la clasificación granulométrica de la tierra y el uso de las partículas. finas.

## **Planteamiento del problema**

La construcción con tierra desde hace muchos años ha funcionado con efectividad respondiendo a necesidades de resguardo de las comunidades indígenas especialmente; en algunos casos ha respondido correctamente ante sismos, debido a esto, se han desarrollado y aplicado técnicas en el sistema constructivo del bahareque.

En la visita a la comunidad indígena Amoyá, se evidenció deterioro de la capa exterior del bahareque en la mayoría de las construcciones del lugar, a causa de procesos constructivos poco técnicos y fallas en la elección y manipulación de los materiales, que con el tiempo se ven afectados por factores ambientales generando daños en el recubrimiento y posteriormente la estructura.

El bahareque es parte del legado de la cultura de los Pijaos, desde hace muchos años ellos hicieron uso de este sistema constructivo, el cronista de indias Fray (como se citó en Tovar, 1958) dijo que “sus viviendas eran buenos edificios, de paredes de barro y madera, casi del ancho de una tapia de las muestras; alta y blanqueadas de greda muy blanca.”. Cuando Fray Pedro Simón habla de paredes de barro y madera no desliga los materiales uno del otro, es decir, no construyen una pared de barro y aparte otra de madera, se refiere más bien a lo que hoy conocemos como bahareque, que básicamente hace uso de la madera y la guadua en conjunto con la tierra para formar un muro. La comunidad indígena Pijao-Amoyá necesita recuperar su cultura, parte de la misma es su sistema constructivo ancestral.

Cubillos, cronista de indias, (como se citó en Tovar, 1958) encontró que “el tipo más común era el de bahareque con blanquimento externo de arcilla blanca y techos de palmicha (...) en cuanto a su disposición las había de dos aguas y de media agua”

Desde tiempos de conquista se habla acerca de la vivienda Pijao como una construcción vernácula elaborada en bahareque, esto fue lo que los españoles encontraron al arribar a las tierras de la cordillera central donde habitaban y aún hoy habitan estos indígenas, sin embargo, actualmente, se está sustituyendo el bahareque por otros sistemas constructivos como la mampostería o pórticos en concreto.

En la visita realizada en julio 29 de 2018 a la comunidad indígena Pijao-Amoyá (vereda la Virginia, corregimiento Las hermosas, municipio Chaparral, departamento del Tolima), por parte de estudiantes de la universidad La Gran Colombia, se evidenció como se ha adoptado el sistema constructivo convencional en mampostería confinada, (en muchas de las edificaciones allí encontradas) mientras que las viviendas en bahareque tradicional ya no se construyen constantemente y además sufren un deterioro progresivo, evidente a simple vista como el agrietamiento y desmoronamiento de la capa exterior de tierra (pañete), dejando expuesto a la intemperie el entramado y la estructura interna del muro dando paso a posibles daños a la edificación, lo que disminuye sus años de habitabilidad y demanda un mantenimiento intensivo.



## **Justificación**

En la visita de campo a la comunidad indígena Amoyá-Pijao, fue notorio que esta población requiere atención en cuanto a la tecnificación de sus construcciones en bahareque, para generar estos cambios, es necesario tener en cuenta la técnica constructiva ancestral de los Pijao.

En la visita se observó que las construcciones en bahareque han presentado desgaste y caída del recubrimiento exterior (pañete) a causa de posibles agentes biológicos y climáticos a través del tiempo, sin embargo, no por esto se debe considerar que la técnica falló y sustituirla, por el contrario debe ser recuperada y mejorada en los aspectos donde se hallaron lesiones, ya que a futuro puede evidenciarse colapsos en las construcciones por daños en la estructura, poca durabilidad de las edificaciones y finalmente llegar a la inutilización de espacios a falta de comodidad, que conlleva a costos agregados en reparaciones; por tal motivo y con el fin de garantizar que en el proyecto a futuro, planteado allí, (centro multipropósito, maloka) se conserve en buenas condiciones, debe encontrarse una solución al problema anteriormente mencionado (caída del pañete tierra),

Es pertinente desarrollar una solución al problema mencionado, no sólo para garantizar el buen comportamiento del relleno y pañete que se implementara en el proyecto (centro multipropósito) y así evitar que se presenten las lesiones identificadas en las construcciones vistas en la comunidad, sino también, poder vincular una parte de su cultura constructiva, que es lo que la comunidad anhela, así lo expresó el señor vicegobernador, quien en una entrevista privada (Quijano, entrevista privada, 2 de octubre de 2018) , aseguró "...la idea del proyecto es trascender, que la huella tanto de la comunidad como de los estudiantes participantes quede plasmada en la edificación y que ella (el centro multipropósito) junto con la historia Pijao llegue a las futuras generaciones y sea un punto representativo tanto de ustedes (los estudiantes) como de toda la comunidad indígena Amoyá..."

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Generar una propuesta de mejora en la adherencia del recubrimiento en tierra para estructuras de bahareque en la comunidad indígena Amoyá (Vereda La Virginia, corregimiento las hermosas, municipio Chaparral, departamento del Tolima) mediante la clasificación por granulometría.

### **Objetivos específicos**

1. Analizar las lesiones halladas en las viviendas de la comunidad indígena Amoyá (Vereda La Virginia, corregimiento Las Hermosas, municipio Chaparral, departamento del Tolima, Colombia).
2. Realizar las pruebas necesarias indicadas en las cartillas, Guía de construcción parasísmica de Wilfredo Carazas y Alba Rivero, y Cartilla básica para la construcción de una vivienda en tierra de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, para determinar la composición y propiedades de las muestras de tierra extraídas del sitio de estudio.
3. Selección granulométrica de una muestra de tierra, y uso de los granos más finos para la elaboración de un modelo de estudio donde se compruebe la hipótesis.

## MARCO REFERENCIAL

### Marco teórico

Se sabe que los materiales convencionales para la elaboración del recubrimiento en la construcción, tal vez no son tan amigables con el medio ambiente como se espera, sin embargo, se piensa que estos materiales tradicionales son más eficientes que a comparación de materiales naturales o también llamados vernáculos por el hecho de que son más rígidos, pero por el contrario, actúan de mejor manera los vernáculos (manipulación de la tierra), claro, si se emplea la técnica correcta, respetando cada paso en el proceso constructivo.

Al haber visitado y observado las construcciones de la vereda la Virginia e identificado algunas de las problemáticas que presentaban la mayoría de las edificaciones allí en el recubrimiento, se desarrollaron una serie de ensayos para el reconocimiento de los distintos componentes de la tierra, identificar si esta influía en la problemática observada y aplicar de manera correcta la técnica de bahareque en el recubrimiento del nuevo proyecto, para ello, se requirió de estudios de sedimentación, contracción volumétrica y procesos de tamizado, para la selección final de los componentes más finos.

En vista de que el proyecto necesitó un análisis para la clasificación granulométrica, y así dar validez a la hipótesis del grupo de investigación, ha sido pertinente mostrar la siguiente información que contextualiza y profundiza en el tema para el conocimiento de otros procesos existentes o en proceso de mejora de la tierra para revoques.

Inicialmente en la parte inferior de la tabla 1, se muestra la granulometría con medidas en milímetros, y se observa que el tamaño de estos granos, para en este caso, arcillas son a partir de arcillas de 0.002 mm y hasta aún más finas; estas dimensiones son las más aproximadas, demostradas en la metodología con un valor aproximado, dado que estas son muy finas y calcular su granulometría es un trabajo arduo, sin embargo, se logró dar fuerza a la hipótesis de este proyecto.

**TABLA 1. Clasificación internacional. Atterberg.**

Clasificación de Suelos - Atterberg	
Dimensión de la partícula elemental (mm)	Atterberg (Sistema Internacional)
< 0,001	Arcilla
< 0,002	
0,005	Limo
0,01	
0,02	
0,05	Arena Fina
0,1	
0,25	
0,2	
0,5	Arena Gruesa
1,0	
2,0	
3,0	Grava Fina
5,0	
10,0	Grava
20,0	Grava gruesa y Piedras
> 20,0	

*Fuente: Geoxnet, 2016*

Estos granos arcillosos, pueden llegar a ser tan finos, siendo como un polvillo, tanto que, al tacto, polvillo que se impregnan en los poros de la piel de quien lo toque.



*Figura 1. Tipos de arcilla*

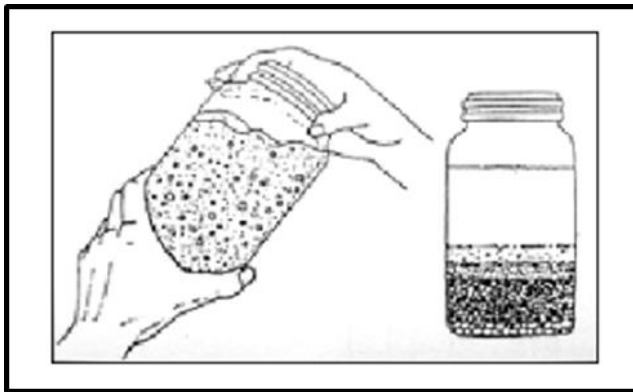
*Fuente: <https://blog.acasabianca.com/Proceso-ceramico>*



*Figura 2. Arcilla extraída por levigación*

*Fuente: Elaboración propia.*

Según la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB, 2010) los porcentajes de limos, arenas y arcillas encontradas en el suelo, donde estas varían según su composición y ubicación; estos porcentajes en que varía cada componente de la tierra, tienen distintos usos y pruebas para la caracterización de la misma. Esta cartilla indica que para la prueba de sedimentación como, por ejemplo, debe depositarse tierra sin ningún elemento de material orgánico en un envase de forma cilíndrica de vidrio o de plástico, preferiblemente de vidrio, con proporciones 1:4, se agita y se esperan 30 minutos aproximadamente, donde se comienzan a hacer notorias cada una de las capas que componen la muestra de suelo. Finalmente, en este procedimiento, se hace una interpretación de caracterización granulométrica que ayuda a saber en qué proporción se compone el suelo según distintas granulometrías y el uso de cada una de estas, como lo es la distinción de estratos, para saber si son aptos para la realización de tapia, BTC o bahareque (Universidad Pontificia Bolivariana [UPB], 2010).



*Figura 3. Sedimentación*

*Fuente: <https://habitatydesarrollo.files.wordpress.com/2012/02>*



*Figura 4. Granulometría*

*Fuente: Elaboración propia*

Con lo anterior nos referimos a cómo se puede caracterizar la tierra en uno de sus ensayos mencionados a lo largo de este documento, sin embargo, es importante mencionar una tesis del 2017, donde también se pretende mejorar la técnica del bahareque con otras metodologías, es allí donde el arquitecto Juan Carlos Pineda Uribe escribe sobre características y deterioro de viviendas de bahareque tradicional en la vereda San Pedro en el municipio de Anserma (Caldas). En aquel estudio se realiza el análisis para el reconocimiento de las construcciones para identificar algunas anomalías que pueden presentar dichas viviendas, con datos de mejora en su recubrimiento, como la utilización de cagajón de caballo y cal para generar mayor cohesión entre la tierra tanto embutida, como en pañete sobre el entramado, utilización de cascarilla de café para generar una resistencia más eficiente junto con palos de café (coffea) para su adherencia a la estructura.

El arquitecto identifica y menciona que:

*“los componentes del revestimiento con una mezcla de tierra y cagajón de caballo cubierta por una lechada de cal y tierra pintada posteriormente con cal, el cual fue sustituido por el revoque de cemento: arena lavada fina y cemento, llamada mortero cubierto con un pañete en cal y sobre este las pinturas escogidas”. (Pineda, 2017, p.63).*

Siguiendo con la explicación, tomando como referencia la tesis anteriormente mencionada, se muestra y explica la siguiente tabla, que, aunque en la misma se describen patologías de las construcciones mediante tablas y fichas, sirve como guía para el reconocimiento de causas y efectos en las construcciones en bahareque:

**TABLA 2. Manifestaciones típicas de las patologías de construcciones en bahareque.**

Desplomes	Erosión	Hinchamientos-reventones	Desalineaciones
Descascaramiento	Fisuras	Contaminación por polución	Exfoliación
Cultivos biológicos	Polvo	Corrosión del refuerzo y metales embebidos	Meteorización
Decoloración y manchado	Lixiviación	Fracturas, aplastamientos y Desmoronamiento	Cristalización

*Fuente: Pineda, 2017*

Las manifestaciones de caída por erosión, el descascaramiento por fisuras y desmoronamiento, mencionadas en la tabla.2, son las principales problemáticas que se identificaron en algunas de las construcciones (...). A continuación, se muestra como los efectos se manifiestan en las construcciones vistas en la comunidad.



*Figura 5. Construcción tradicional en bahareque, vereda la Virginia*

*Fuente: Laboratorio de fotografía, Facultad de Arquitectura*



*Figura 6. Construcción tradicional en bahareque, vereda la Virginia*

*Fuente: Laboratorio de fotografía, Facultad de Arquitectura*

Los efectos visualizados, en la Figura 5 y 6, han sido causados por los implementos manejados en la construcción de las mismas, como es la caña pindo (madera de textura lisa), esta genera poca adherencia, casi nula, además de la implementación de tierra con mayor porcentaje de arenas que arcillas, lo cual evita que el material de tierra sea compacto y, por ende, se pulverice con mayor facilidad.

**TABLA 3. Distribución de viviendas según tipo de materiales y recubrimiento**

MATERIALES						TOTAL		TIPO DE RECUBRIMIENTO						TOTAL	
MADERA GUADUA		MADERA GUADUA MAMPOS.		MADERA GUADUA TIERRA		No. DE VIVIEN DAS	PORC EN TAJE	PAÑETADO /CAGAJÓN/ CAL		PAÑETADO /CAGAJÓN/CAL /ENCEMENTADO		ENCEMENT. (CEMENTO ARENA)		No. DE VIVIENDAS	
F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%	F	%
14	47%	7	23%	9	30%	30	100	18	60%	10	33%	2	7%	30	100

*Fuente: Pineda, 2017*

Según los datos de la tabla 2 y 3, Pineda se basa en Hernández (2014), donde se muestra en cómo se manifiesta cada anomalía en construcciones de bahareque dependiendo de los factores físico-ambientales, además en la tabla # se evidencia según los estudios como la eficiencia de las construcciones con material vernáculo, como lo es en este caso, guadua y madera, tienen una durabilidad mayor a la de materiales convencionales, al igual que un eficiente comportamiento estructural.

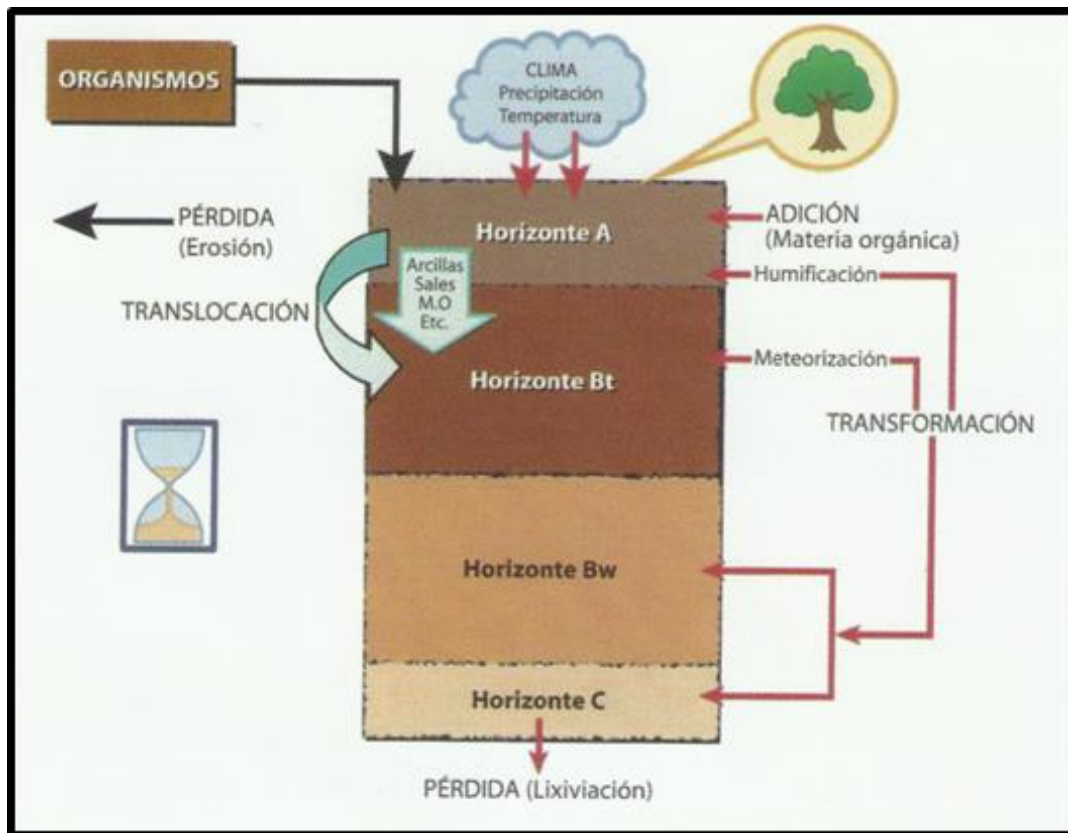
Por otra parte, en el documento de Hábitat y desarrollo, se menciona “Una mezcla bien batida sin cemento tiene mejor resistencia que una mezcla mal batida y reforzada con mortero” (García, et al., 2011). Según lo anterior, es conveniente realizar construcciones de buena calidad, así sus componentes sean pocos o simples, si están bien mezclados y adicionados en las proporciones correctas, no es necesario añadir aditivos (paja, sábila, estiércol de vaca), que podrían actuar de manera contraria, disminuyendo la estabilidad del material elaborado. Es en este caso preciso decir, que la mejora del recubrimiento en las construcciones de tierra es efectiva, si se hace como se mencionaba anteriormente con seguimiento de la técnica sin saltarse ni un solo paso. Por ejemplo, en este caso el uso de la paja molida y mezclada junto con la tierra, produce un acabado fino, liso y compacto; esta tiene que ser paja de trigo, debido a que, si este es de paja de granos de avena, se deshacen con más rapidez., y así mismo, esta no debe estar entera, ya que puede formar nidos y debilitar la mezcla en grandes proporciones.



## Marco conceptual

### *Composición del suelo*

La composición del suelo en el municipio de chaparral tiene las características, generales de toda la región del Tolima, las mismas se encuentran consignadas en un extenso estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), donde se describe así “los suelos se caracterizan por presentar horizontes o capas distinguibles del material parental y material orgánico en una amplia gama de evolución, las diversas características de los suelos, en general, permiten el soporte de plantas enraizadas en un ambiente natural”(IGAC, 2016, p.94), según lo referido anteriormente, se entiende que en general el departamento del Tolima, cuenta con suelos muy aptos para el desarrollo de la flora en general.



*Figura 7. Granulometría de la tierra*

*Fuente: Carazas, Rivero, 2002.*

En la región del Tolima se encuentra una orografía pronunciada, puede encontrarse zonas donde la altitud promedio es de 326 metros sobre el nivel del mar, (el caso del municipio de Girardot), hasta lugares con una elevación promedio de 884 metros sobre el nivel del mar, en el caso del municipio de Chaparral, esto hace que se presenten diferentes climas y además de ello la composición del suelo varía, así como la flora y fauna que se pueda presentarse en estos sitios. En el municipio de chaparral específicamente, se encuentran distintos relieves, en la región del corregimiento las Hermosas, la altitud promedio está entre los 1000 y 2000 metros sobre el nivel del mar, para esta altitud el IGAC, en el departamento ha hecho una caracterización del suelo y el clima de la siguiente manera “suelos de montaña en clima templado, húmedo a muy húmedo”(IGAC, 2016, p.95), acerca de la composición del suelo nos dice que “está conformado por una gran variedad de materiales; cenizas volcánicas, rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.”(IGAC, 2016, p.95) respecto a la agricultura también se hace una clasificación donde se dice que a esta altitud “es una de las zonas de mayor uso agrícola, especialmente en cultivos de café, caña, plátano, yuca y frutales.”(IGAC, 2016, p.95). En el lugar donde se llevará a cabo el proyecto del centro cultural y la maloca, (vereda la Virginia, corregimiento Las Hermosas, municipio Chaparral, departamento del Tolima) se realizó por parte del equipo de Tecnología en Construcciones Arquitectónicas, la toma de muestras de tierra para su posterior estudio, con los mismos se pretende buscar la composición del suelo, ya que para el proyecto futuro se debe utilizar tierra del sector en la construcción del bahareque, para lo cual es absolutamente necesario, saber si el desmoronamiento de la capa exterior del mismo es causada debido a las ineficientes condiciones de la tierra usada.

## Componentes de la tierra

En el material vernáculo hallado en la Vereda la Virginia (...), se encontró que la tierra se compone de algunos minerales como lo son:



**MICA**

<https://www.teachersource.com/product/mica-by-the-pound/earth-science-geology>



**CUARZO**

<https://esoterismos.com/cuarzo-poder-y-energia/>



**FELDESPATO**

<https://www.llansasa.com/es/productos/feldespato/>

*Figura 8. Granulometría de la tierra*

*Fuente: Elaboración a partir de Educacional Innovación, 2013.*

Estos componentes, provienen de la erosión de la roca madre, y la misma se compone de partículas minerales como el feldespato, mica y cuarzo principalmente, de dimensiones que varían desde los guijarros (canto rodado o fragmentos de roca) hasta los granos más arcillosos (finos). Al ser estos minerales los encontrados, en las muestras de tierra tomadas se identificó que, en el caso del feldespato, este pertenece a un grupo variado de minerales conformado por silicatos de aluminio combinados de potasio, calcio y sodio (SE, 2004).

El cuarzo se compone esencialmente de rocas ácidas (roca ígnea, formada por cristalización del magma), por eso su abundancia y frecuencia en el suelo, además de tener alta resistencia (Neobux, 2015). Finalmente, la mica (moscovita) es un mineral de la clase de silicatos; este mineral está caracterizado por formarse en láminas delgadas, flexibles y brillantes (D'Alessandro, 2016). Los minerales anteriormente mencionados, al ser los principales componentes de la tierra del lugar, generan una resistencia alta llegando a hacer que, en este caso para el uso del recubrimiento de las construcciones en bahareque, se vuelva más compacto, durable e impermeabilizante en un rango medio, además para que se adhiera con facilidad a la estructura del entramado. Por otra parte, fuera de tener dichas ventajas, se opta por este material vernáculo por ser amigable con el medio ambiente

como se necesita; se piensa que algunos materiales tradicionales como el ladrillo o el concreto, pueden llegar a ser más eficientes que los materiales vernáculos por el hecho de que son más rígidos, pero, por el contrario, actúan de mejor manera, claro, si se emplea la técnica correcta, respetando cada paso en el proceso constructivo.

### **Bahareque tradicional**

Según el diccionario de la Real Academia Española, se define el bahareque como “Pared de palos entretejidos con cañas y barro”, muy usada en Colombia cuya técnica consiste en una estructura de guadua y madera aserrada, un entramado, un relleno y un acabado. Algunos materiales varían dependiendo de la zona donde se construya.

El bahareque según Arango (1990) se remonta a la época prehispánica, es decir que ha sido una técnica usada por años, y que con el paso del tiempo ha ido mejorando constructiva y tecnológicamente, hasta convertirse en la técnica constructiva sismo resistente cobijada por numerosas normas a nivel mundial.

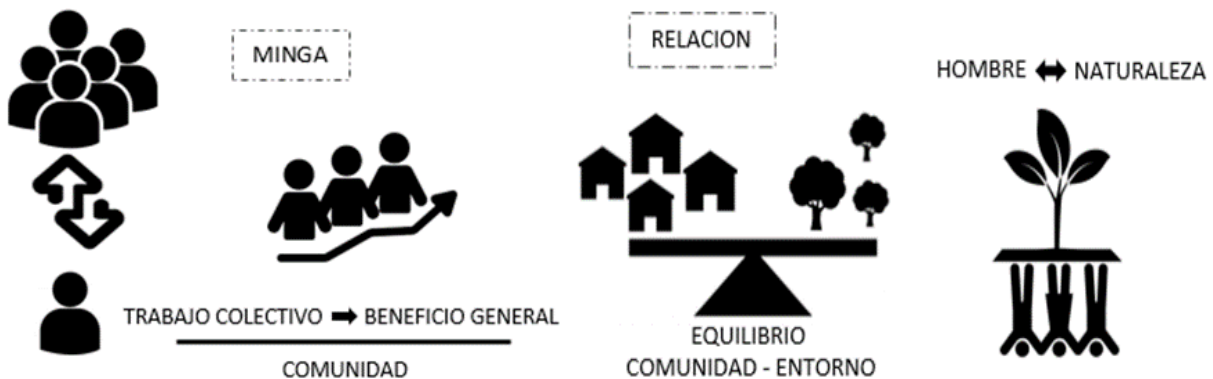
El bahareque tradicional presenta una serie de propiedades, resultantes de las características individuales de cada material usado. Gracias a la guadua utilizada como elemento estructural, trae muchos beneficios a nivel de resistencia, por esta razón es denominada el acero vegetal, siempre y cuando sea usada correctamente, con sus debidos refuerzos, uniones y técnica. También al ser un material local es muy ventajoso por su disponibilidad casi inmediata. Los problemas de este elemento son principalmente causados por el mal uso, la mala instalación o que no se le da un debido proceso de preparación para la construcción.

La tierra cumple una función muy importante en el sistema, a un muro en bahareque le proporciona “resistencia a la compresión, favorable inercia térmica apreciada en el acondicionamiento ambiental de sus edificaciones” (Pineda, 2017, p. 44) así como aislamiento acústico, que permite proporcionar confort dentro de la edificación, aún en cambios extremos de temperatura. Así mismo el uso de tierra trae muchos beneficios como fácil acceso al material, sencillo trabajo y moldeado, lo que reduce costos. Pero también cuenta con desventajas como su baja resistencia a la humedad, por lo que es importante contar con métodos de protección, como aleros pronunciados, para evitar la acción directa del agua lluvia y zócalos para evitar filtraciones de humedad desde el terreno.

Es indispensable tener claro la forma de uso y los requerimientos técnicos necesarios para la perfecta utilización de la tierra, “El manejo del barro tanto en su preparación, como en el revoque, requiere algún conocimiento. En zonas sujetas a fuertes lluvias y vientos es necesario dejar aleros o mezclar un 7% de cemento al barro del revoque” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2004, p.2).

El bahareque como sistema constructivo, cuenta con muchos beneficios tanto ambientales como sociales, y en ocasiones hasta culturales, En el documento “Tecnología en la erradicación de la pobreza” del Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (2004) afirman que el bahareque desarrollado de forma correcta “maximiza el uso de recursos locales; el componente más importante es la mano de obra, la cual generalmente procede del autoconstrucción.

El bahareque bien desarrollado constituye una técnica antisísmica, liviana y durable” (p.2). En las comunidades indígenas, autoconstrucción está relacionado con dos principios, la Minga que “es una expresión de origen kichwa que destaca el trabajo colectivo...” (Fernández, junio 2015, p.2) y el “trabajo combinado de la naturaleza y el hombre; por lo cual amplía la cobertura del patrimonio a territorios que representan la transferencia de tradiciones constructivas, productivas, adaptativas, entre otras, de las comunidades” (Suárez, octubre de 2015, p.4), son los cimientos de un progreso eficiente y armonioso. Estos dos principios (figura 9) se ven aplicado en la construcción de las viviendas.

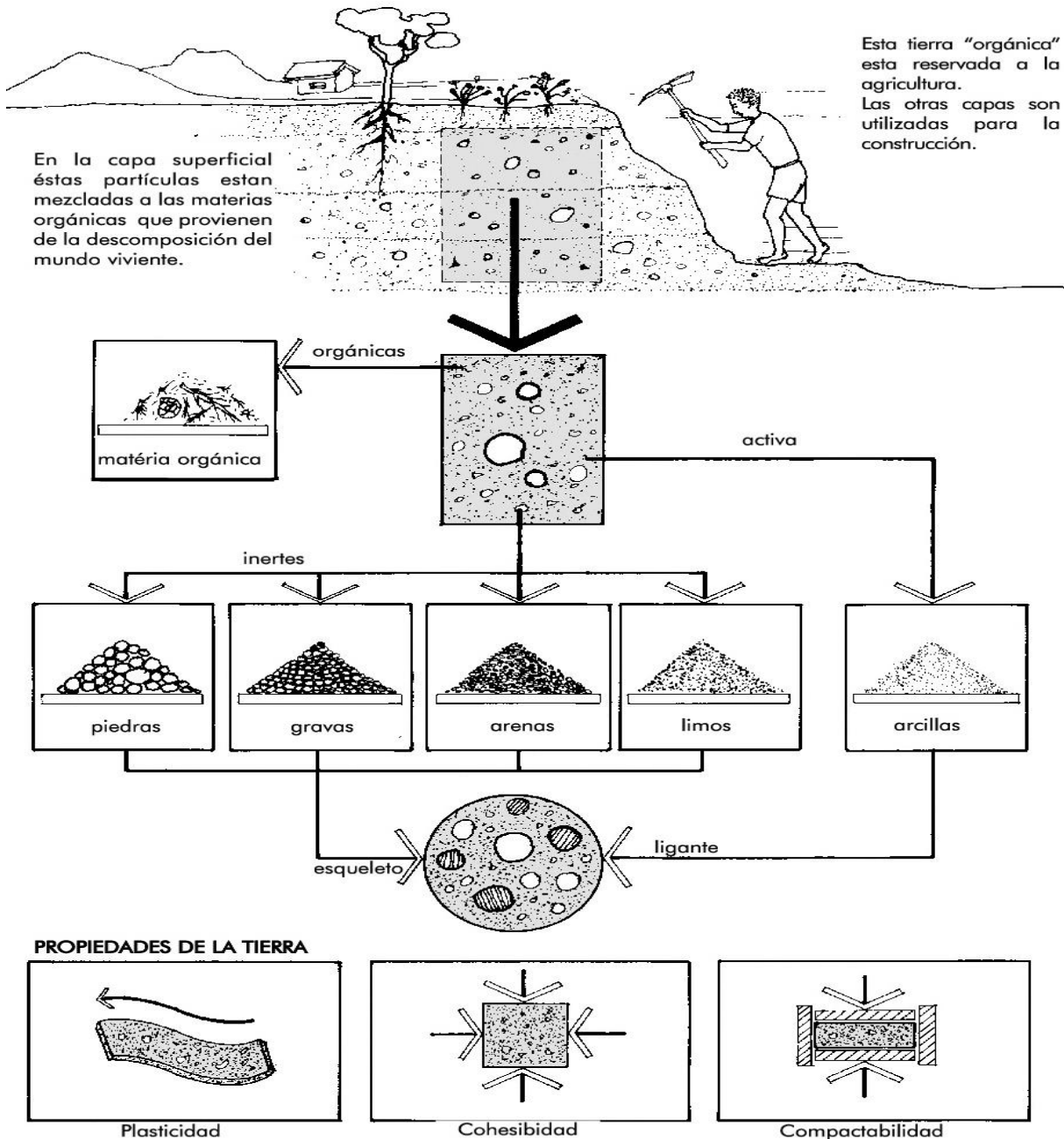


*Figura 9. Principios de una comunidad indígena*

*Fuente: Elaboración propia*

### Pañete en el bahareque tradicional

la tierra como material constructivo “proviene de la erosión mecánica y química de la roca-madre.” (Carazas, Rivero. 2002, pág.7) está compuesto por capas de diferentes. Ver figura 10.



Existen varios tipos de tierra según la importancia en cantidad de uno de los componentes: TIERRA GRAVOSA - TIERRA ARENOSA - TIERRA LIMOSA - TIERRA ARCILLOSA

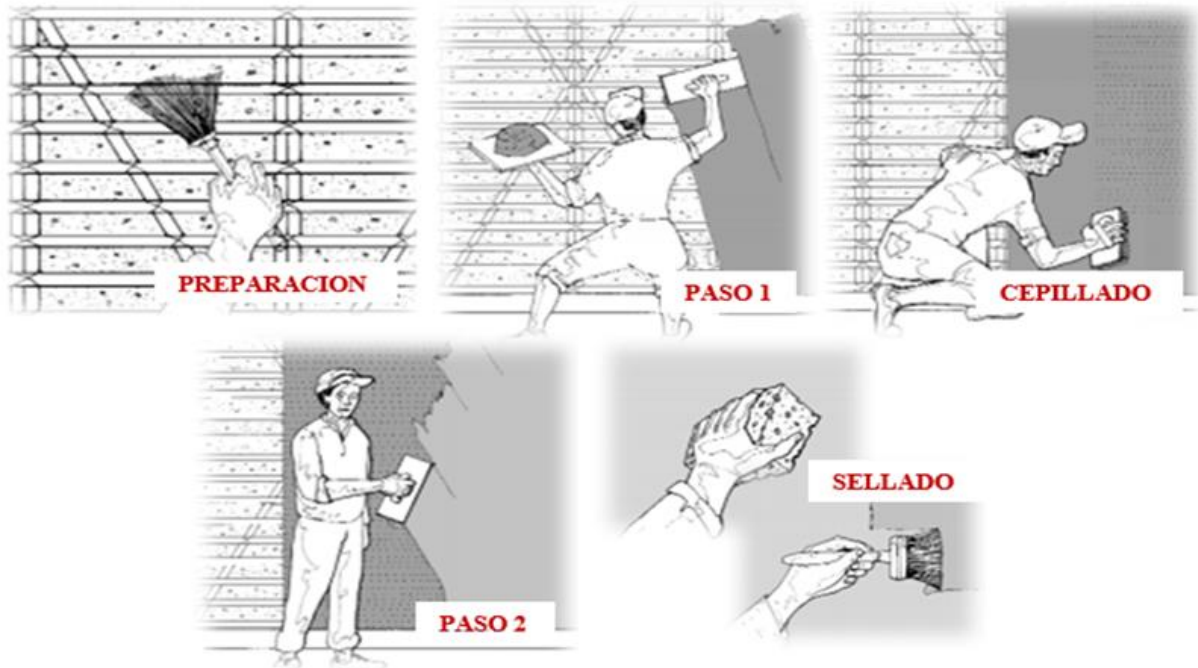
Figura 10. Granulometría de la tierra

Fuente: Carazas, Rivero, 2002.

El material arcilloso cumple el papel más importante, pues funciona como el “pegamento” de la mezcla y le proporciona las características necesarias para que no aparezcan grietas y se desprenda del muro una vez aplicado. Los demás elementos que son de un tamaño más grande sirven para darle cuerpo y resistencia a la mezcla, pero es importante tener claro las proporciones correctas de cada uno de los elementos que se utilizaran.

Se habla constantemente en el manejo de la tierra en la construcción, de su estabilización, ya que es recomendable agregar materiales que mejoren las propiedades mecánicas, físicas y químicas del material, los más comunes son el cemento o cal, aunque no es indispensable en todos los casos, ya que en ocasiones la tierra utilizada cuenta con características suficientes para funcionar satisfactoriamente sin necesidad de utilizar estabilizantes, por esto es importante saber escoger la tierra que se va a usar, esta debe ser “ una mezcla plástica, blanda y pastosa, hecha de arcilla...” (Guira, Valcárcel y Pagliolico, 2013 ) y se debe caracterizar por componerse de un alto porcentaje de arcilla, pero bien dosificado, ya que una cantidad desproporcionada de arcilla genera riesgo de aparición de fisuras una vez seca la mezcla y muy bajo contenido de arenas para evitar que se desprenda después del secado, junto con el uso de la tierra en la construcción aun en su estado plástico para garantizar la perfecta cohesión con la estructura.

En el bahareque tradicional, el revoque se elabora mediante la combinación de tierra, paja cortada de aproximadamente 3cm de largo y agua. Previamente se aplica agua sobre la estructura para eliminar contenido orgánico que se encuentre en el entramado, dejando secar por pocos minutos para generar un equilibrio tanto en la evaporación del agua como en la absorción de la misma en los elementos de la estructura, y así, la mezcla de tierra se adhiera con eficacia. Ver figura 11.



**Figura 11.** Elaboración paso a paso de recubrimiento en construcciones de bahareque

**Fuente:** Carazas, Rivero, 2002.

Posteriormente, como se muestra en a figura 11, se aplica la tierra por sesiones, donde el primer paso, la capa hecha con la mezcla mencionada, se aplica directamente sobre el entramado o estructura de madera rolliza o cama de esterilla (bambú o guadua); en este paso, la capa tiene de 8 mm a 20 mm de espesor. Antes del secado de esta primera fase, con un cepillo hecho de clavos o púas se hacen hendiduras o fisuras, las cuales hacen que la segunda capa se adhiera mejor a la primera.

Luego, la aplicación de la segunda capa o afinado, se realiza cuando la primera fase está seca en su totalidad, además de dar estética a el recubrimiento como paso final, este protege a la estructura principal de la edificación. La capa final debe ser de 1 mm a 2 mm de espesor.

Concretando la elaboración del revoque en las construcciones de bahareque, el sellado se realiza con esponja, haciendo movimientos circulares, luego de esperados 15 minutos a 20, con movimientos lineales o rectos se utiliza brocha seca con el fin de sellar la superficie. Esta fase final, da cabida a mezclar la tierra junto con cal-arena, yeso-arena, yeso-cal- arena o cada uno de estos componentes por separado con el propósito de impermeabilizar el muro, protegiendo la estructura interna. (Carazas, 2002, p.18).



### **Aditivos naturales para el pañete en bahareque**

En el bahareque un problema común es la falta de materiales aglutinantes en las mezclas de tierra que se usan para hacer el recubrimiento del mismo, produciendo fisuras y desmoronamiento a largo o incluso corto plazo, por tal razón se han llevado a cabo investigaciones sobre el tema por parte de diferentes autores. La tesis de Alexandra Pinos y Teresa Baculima llamada Recuperación del sistema constructivo en la técnica del bahareque en la contemporaneidad; allí se muestran dos tipos de aditivos, como lo es inicialmente la resina natural, elaborada con sustancias orgánicas insolubles en agua, de consistencia sólida o pastosa, se obtiene de la secreción de algunas plantas. La primera resina que se utiliza en este caso, es la baba de sábila, esta es un aglutinante que actúa mezclado con la tierra, solidificando y compactando en la estructura que se aplique y evita que la misma se desmorone.

En la preparación de la tierra junto con la baba de sábila, la proporción es 1:3, formando una mezcla de consistencia densa; esto con el fin de evitar agrietamientos y posterior caída del pañete del entramado. No obstante, es un proceso complejo, dado que la obtención de esta resina natural, es mediante la extracción de la baba de la planta, y esta requiere de tiempo y gran cantidad de plantas para la aplicación de la mezcla en una superficie bastante amplia; lo que lleva a no utilizarla con intensidad por la gran inversión de tiempo y material

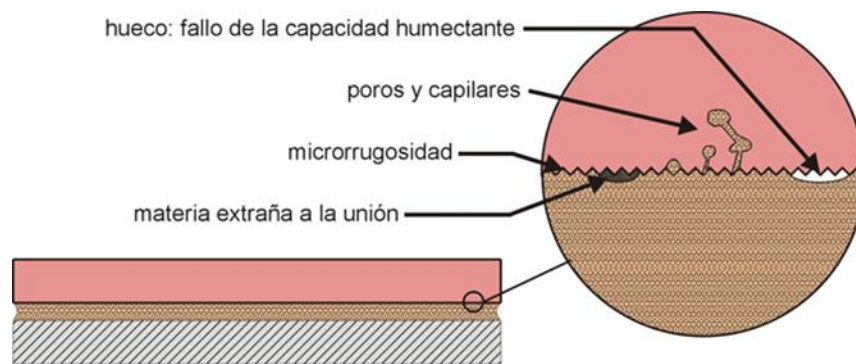
En segundo lugar, otro tipo de sustancia, es el PVA o resina sintética, al igual que la resina natural, tiene una consistencia sólida o pastosa, aglomerando los elementos en que se aplica. En la elaboración de la mezcla de tierra junto con el pegamento, su aplicación se realiza posteriormente de una primera capa con mezcla de tierra y paja sobre el entramado. la proporción es 2:1:1, haciendo uso de pegamento, agua y cemento (Pinos y Baculima, 2014).

A pesar de ser tomada la tesis anterior como ejemplo, en este caso para la solución de la hipótesis del grupo de investigación, se llevó a cabo con el mismo procedimiento, a excepción del uso del cemento, reemplazándolo con cal para la correcta impermeabilización del pañete.

Otra de las soluciones que funciona como aglutinante para mejorar el revoque de las construcciones en bahareque, es la utilización de fibras, estas ayudan a la mezcla a tener mayor consistencia y tener una adherencia mecánica., y esta funciona de manera tal que:

“Se caracteriza por:

- El acoplamiento mecánico entre adhesivo y adherente.
- Textura o micro rugosidad superficial del adherente.
- Porosidad y capilaridad del adherente y cinética de penetración del adhesivo en poros y capilares.
- La capacidad humectante o mojante del adhesivo” (Porcar, 2008, párr.2)



**Figura 12.** Adherencia mecánica

**Fuente:** Porcar, 2008.

En la figura 12 se muestra como la adherencia mecánica funciona en el caso de una baldosa, sin embargo, este mismo funcionamiento es el que se presenta en la realización del pañete en las construcciones de bahareque, utilizando fibras junto con la tierra que se utilice; las fibras generan la micro rugosidad, debido a que enlazan la mezcla de tierra a las fibras, haciendo que se adhieran entre sí y a la estructura, sin producir agrietamientos o fisuras.

## Protección por gestión de calidad de materia prima

**Selección:** Según Martins, Borges, Rotondaro, ceballos y Hoffmann (2009) desde la vista de la arquitectura, en la selección del suelo, el más apropiado para la construcción es el ubicado en el subsuelo, como también es llamado en ingeniería, Horizonte B; este tipo de suelo debe estar limpio de materia prima, además de poder ser encontrado también en zonas áridas y semiáridas, pero en este caso, hallado en la superficie de las mismas, dejando el material libre de raíces, piedras, etc. El suelo debe contar con propiedades características en su composición granulométrica, retracción, plasticidad, además del control en la ejecución en cuanto humedad y grado de compactación. (Martins et al., 2009).

**Composición granulométrica:** En el suelo se encuentran diferentes granulometrías, es decir, variedad de tamaños de las partículas encontradas allí; cada una, dependiendo de su dimensión, tiene un uso característico en la construcción, yendo desde gravas hasta arcillas como se muestra en la figura 13.

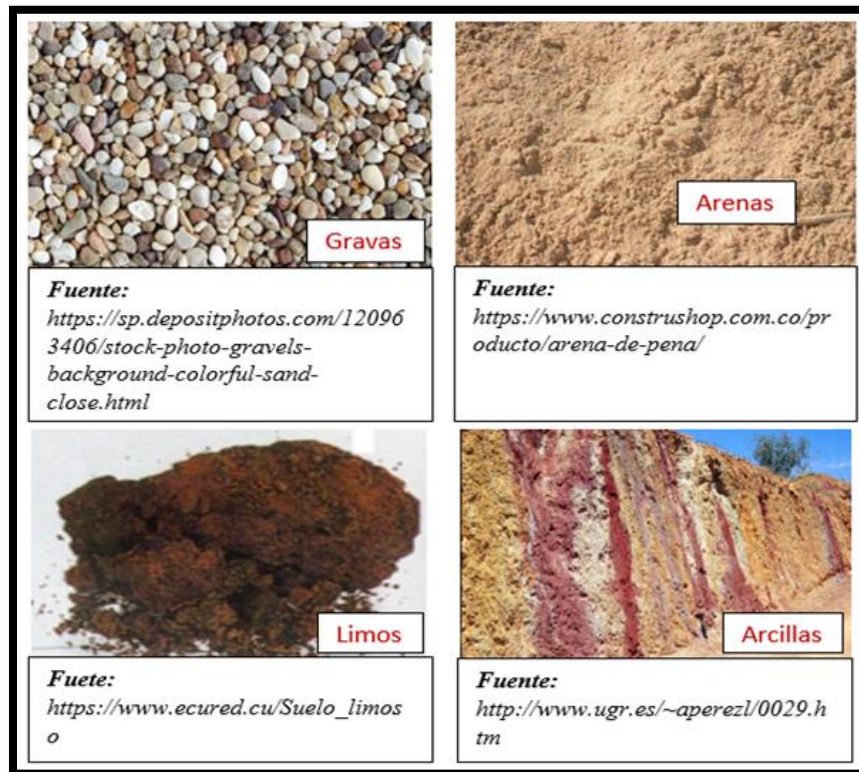


Figura 13. Granulometría de la tierra.

Fuente: Carazas, Rivero, 2002.

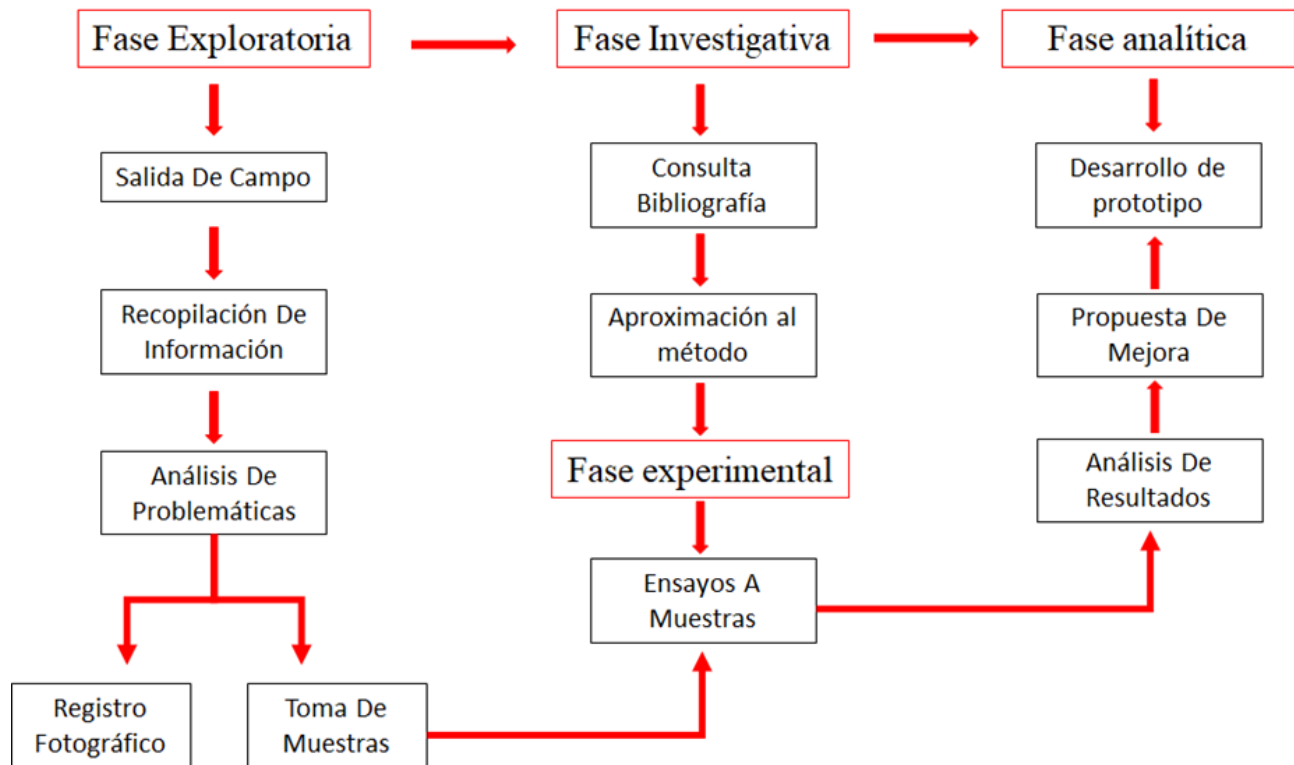
La composición del suelo es representada en su clasificación, mediante una curva granulométrica, representando la dimensión de cada una de las partículas y la proporción de las mismas en las muestras de suelo que se tomen; por medio de dos ensayos se genera la curva granulométrica, iniciando con el tamizado para la separación de las gravas y arenas, para luego terminar con la selección de limos y arcillas mediante la prueba de sedimentación.

### **Marco Normativo**

En Colombia existe el reglamento base para la construcción de edificaciones, se trata de la norma de sismo resistencia de 2010, (NSR-10) la versión más actual, en dicha disposición se hacen los planteamientos técnicos para construir de manera que se garantice la estabilidad de una edificación durante un sismo, allí se encuentran consignadas las especificaciones de acuerdo a sistema constructivo, la misma se divide en once títulos del A al K. El título E, habla de construcciones de uno y dos pisos, en el capítulo siete del mismo se trata específicamente el bahareque Encementado, es decir, en Colombia el bahareque está aprobado por norma, como un sistema constructivo que cumple los requisitos de sismo resistencia en viviendas de uno y dos pisos.

Para fines prácticos, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), género un manual donde por medio de ilustraciones se dan pautas claras sobre cómo debe llevarse a cabo la construcción de una vivienda en bahareque, este manual se puede sugerir cómo un complemento a la norma de sismo resistencia en el título E.7, las disposiciones allí planteadas fueron debidamente verificadas, debido a esto se enfatiza que “para el desarrollo de este manual fue necesario llevar a cabo una investigación cuidadosa, en los laboratorios de estructuras de la facultad de minas de la universidad nacional de Colombia (...) se contó con el apoyo de especialistas y asistentes de investigación” (p.3). También existe el manual para la rehabilitación de viviendas en bahareque, el cual fue expedido igualmente por el AIS, en el mismo se ofrecen una serie de soluciones para reparar daños que puedan presentarse en las viviendas hechas bajo este sistema constructivo.

## METODOLOGÍA



*Figura 14. Metodología del Proyecto.*

*Fuente: Elaboración Propia.*

El desarrollo general del proyecto se llevó a cabo en cuatro fases, como se muestra en la figura 14, cada una de estas etapas aportó a la investigación elementos muy importantes, los cuales se describirán a continuación:

### **Fase Exploratoria**

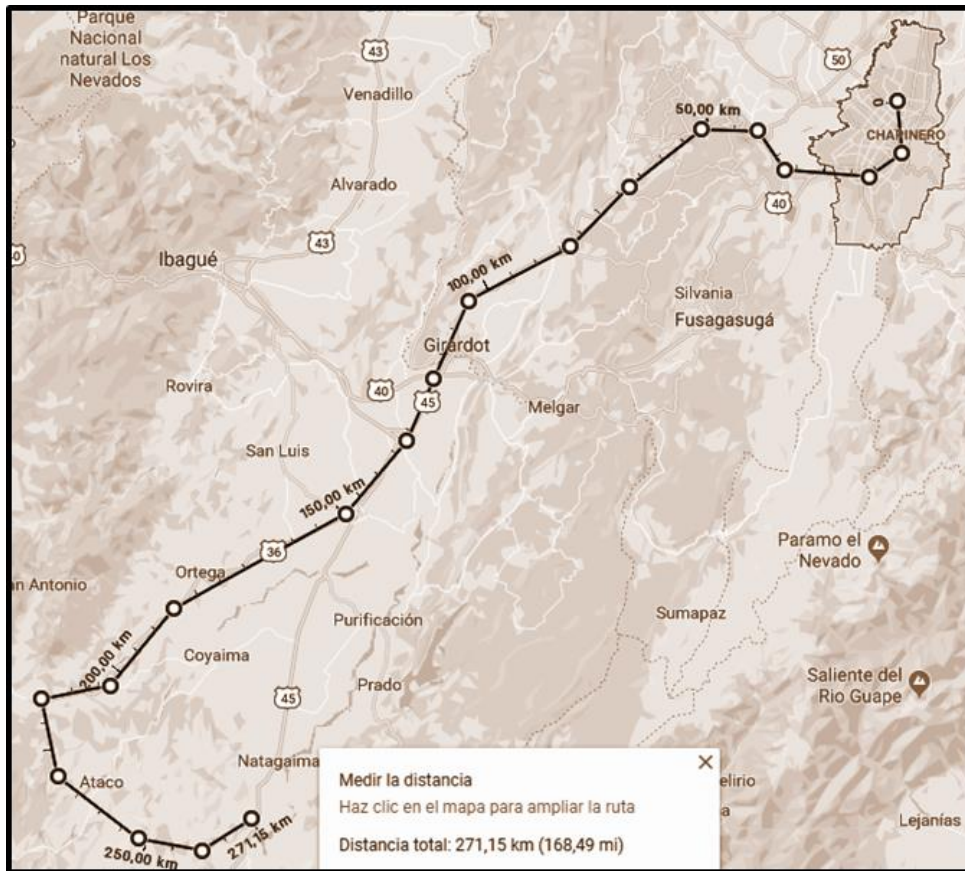
En esta primera etapa de la investigación, se buscó un caso de estudio, aunque aún no se había definido el problema, se había predeterminado que el tema del cual se quería investigar era el bahareque, debido a su importancia en el contexto cultural-histórico de Colombia.

### **Salida De Campo**

Se definió el caso de estudio en la vereda La Virginia, (Corregimiento Las Herosas, municipio Chaparral, departamento del Tolima, Colombia) lugar donde habita la comunidad

indígena Amoyá. La Virginia, se encuentra comunicada por medio de una vía terciaria, (de grava) a 70 km de la cabecera municipal de Chaparral, que a su vez se encuentra a 200 km de la capital de Colombia, Bogotá.

Las condiciones de acceso al sitio resultan bastante dificultosas, una vez se ha alcanzado la cabecera municipal, (Donde el viaje por carretera es de cinco horas en promedio) se debe tomar una vía sin pavimento hasta llegar al sitio. (sumando cuatro horas más al recorrido final debido a las condiciones de la carretera). A continuación, se anexa una vista satelital de la ubicación del sitio respecto a la ciudad de Bogotá. Figura 15.



**Figura 15.** Ubicación de lugar.

**Fuente:** <http://www.google.com/maps/place/Vda.+La+Virginia,+Natagaima,+Tolima>

## **Recopilación De Información**

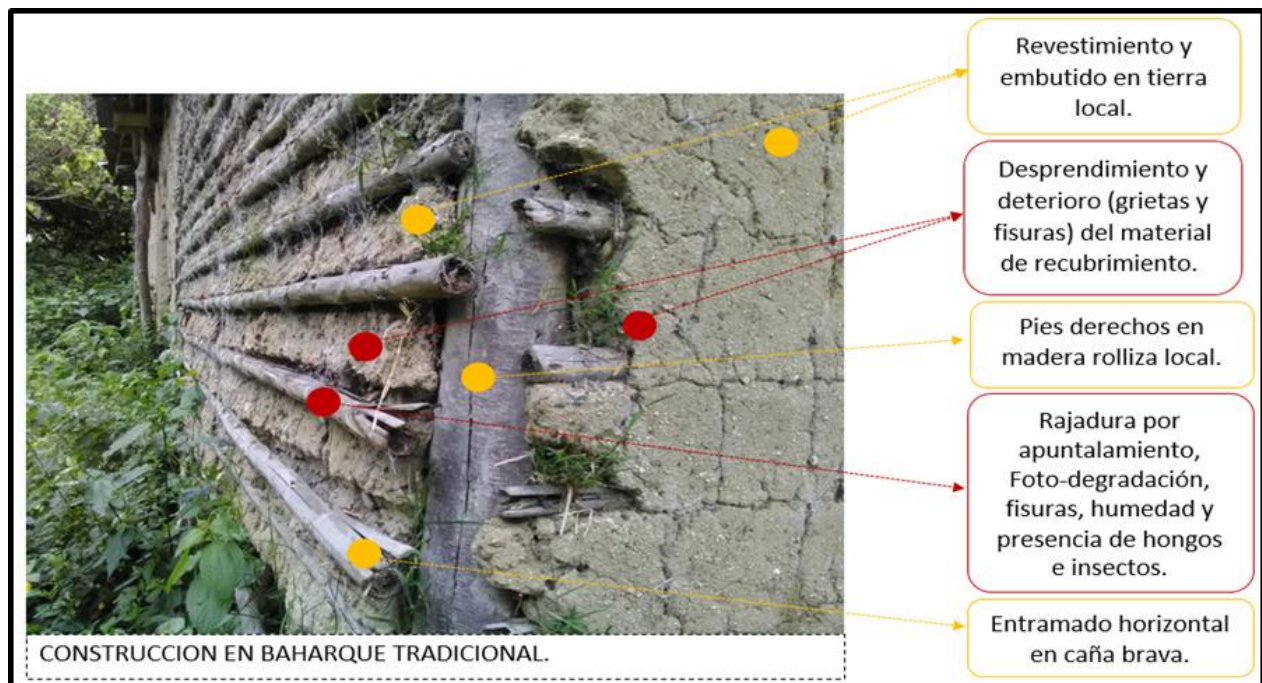
Se llevó a cabo con la comunidad, actividades de socialización, donde se conoció acerca de su origen, costumbres y necesidades. El propósito fundamental para ellos era conservar recuperar su legado cultural a través del tiempo, para lo cual pretenden construir un centro cultural que rescate si no toda, al menos una parte de su historia como descendientes de indígenas Pijao. Ahora bien, parte de la cultura es el sistema constructivo tradicional que empleaban allí, el bahareque fue ampliamente utilizado por los Pijao, desde tiempos de conquista.

La comunidad cuenta con una población de 168 personas, distribuidas en 37 familias, las mismas tienen una estructura social campesina, desarrollando actividades propias del medio, es decir, agricultura, (especialmente café y frijol) algo de ganadería y pesca. En cuanto a la organización política, cuentan con una estructura de cadena de mando, donde la “cabeza principal” es el gobernador, el segundo al mando el vicegobernador, en un orden descendente la secretaria y el jefe de la guardia indígena y sus subordinados, que en su mayoría sirven jóvenes de la comunidad con un rango de edad entre los 15 a los 20 años.

En la vereda La Virginia la oscilación térmica es considerable, debido a que según datos arrojados en mediciones térmicas que se realizaron en campo, la temperatura en horas de la tarde (12:00 m a 2:00 pm) llegó a un pico de 30 c°, mientras que en horas de la noche-madrugada la temperatura descendió a unos 12 c°, esto nos da una oscilación térmica de 9 c° (alta) y una temperatura promedio de 21 c°.

### **Análisis De Problemáticas**

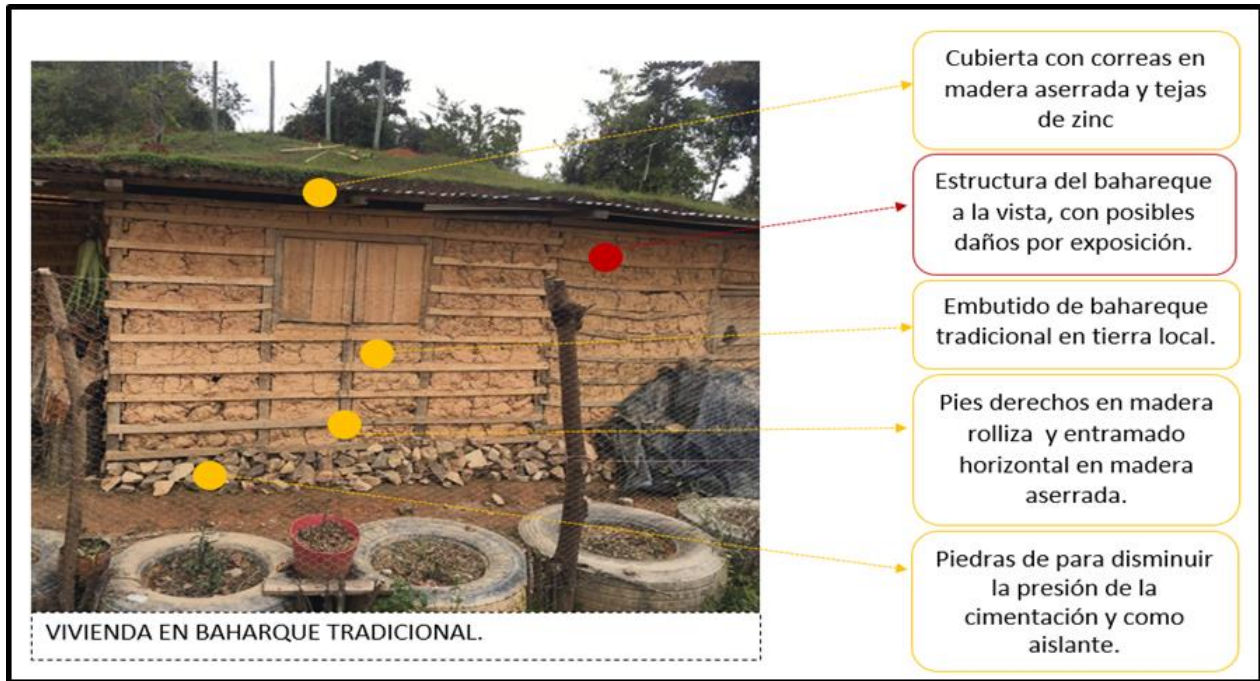
El presente trabajo, no tenía como fin un enfoque antropológico, sin embargo, era de gran importancia entender que para la comunidad la construcción en bahareque, era parte de la cultura que ellos pretendían recuperar, por lo cual el enfoque de la problemática a hallar se hizo respecto a las construcciones locales de la comunidad en dicho sistema constructivo, que además era del gusto del equipo investigativo, debido a sus cualidades vernáculas. La primera problemática que se halló, fue el desuso o prácticamente el abandono de la técnica del bahareque por parte de la comunidad, reemplazándola en gran medida por el sistema de mampostería confinada, con lo cual genera pérdida en la transmisión del conocimiento sobre su cultura constructiva, además que desde un punto de vista medio ambiental en incluso económico, para la comunidad no es conveniente construir con sistemas convencionales. La segunda problemática importante que se halló, fue la falta de conocimiento técnico en el autoconstrucción; en las estructuras desarrolladas con guadua o en bahareque, se encontraron soluciones muy rudimentarias, que a largo plazo genera que las construcciones presentan diversas fallas importantes. A continuación, en las figuras: 16, 17, se hace una descripción de la forma en que se construía en el lugar, evidenciando las falencias mencionadas



**Figura 16.** Construcción de bahareque tradicional de la comunidad.

**Fuente:** Elaboración propia.





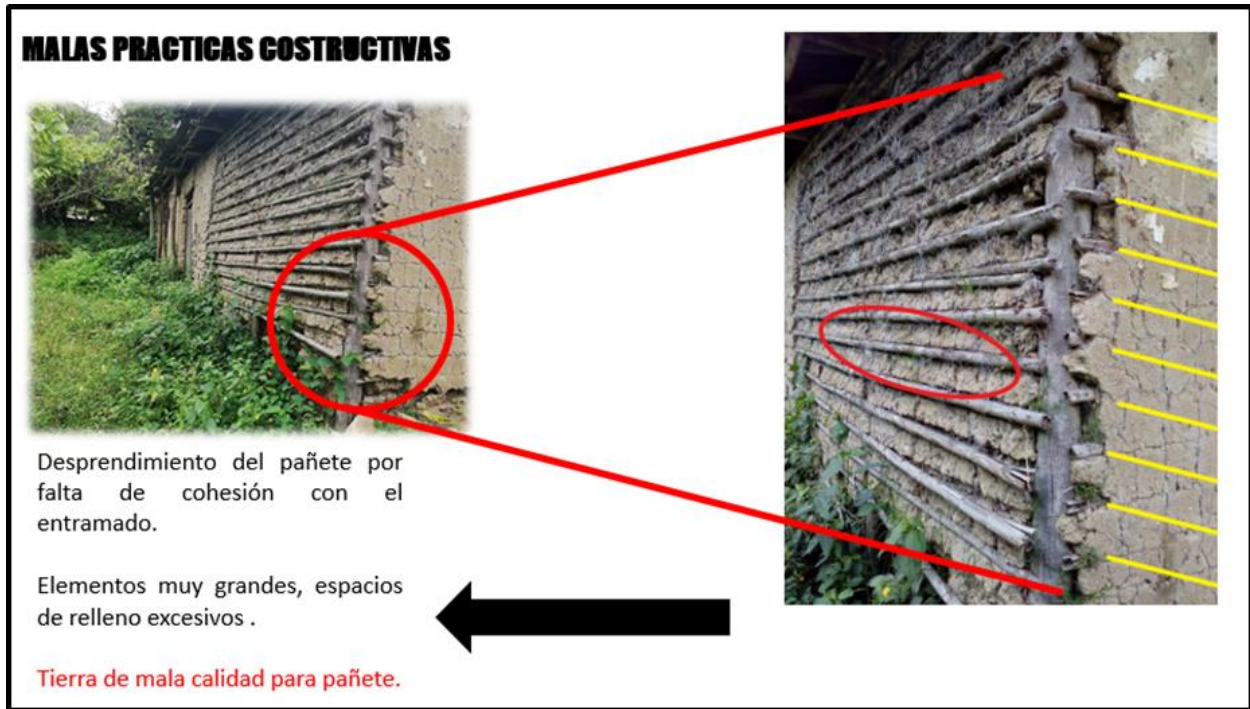
*Figura 17. Construcción de bahareque tradicional de la comunidad*

*Fuente: Elaboración propia*

Como se puede observar, la forma en que se construía ha sido bastante artesanal, llegando a incluso a enterrar la madera rolliza directamente en el suelo sin ningún tipo de tratamiento y por supuesto sin ningún tipo de cimentación, además la elaboración de amarres en la cubierta con alambre dulce, generando fallas estructurales.

El tercer problema, muy notorio en el lugar, era el desprendimiento o desmoronamiento del recubrimiento del bahareque (Pañete de tierra), se consideró por parte del equipo investigativo que desarrolló el proyecto, que este sería el tema principal a resolver, ya que, llevándolo a términos de una analogía, el pañete en el bahareque es como la piel en un ser humano, la primera defensa ante las amenazas del medio ambiente.

En el momento por simple observación, de una manera deductiva, se podía llegar a conjeturas acerca de las posibles causas del problema mencionado, en la figura 18, se observa un análisis sencillo; era evidente que el entramado de la estructura (caña pindo) presentaba deficiencias como: elementos de gran tamaño, con excesiva separación entre sí y de superficie lisa que ofrecían muy poco agarre o cohesión por su falta de textura.



*Figura 18. Análisis de problemática.*

*Fuente: Elaboración propia.*

A pesar de encontrar una gran falla en el entramado de la estructura, aún había factores que debían investigarse, uno de ellos muy importante, era la composición de la tierra usada en las construcciones, pues, aunque el bastidor fuera no tan funcional como debería, en algunos casos, no se presentaba la misma falla o tal vez no en la misma magnitud.

### ***Toma De Muestras***

Se llevó a cabo una toma de muestras de tierra, tanto en el sitio donde se desarrollará el proyecto arquitectónico, pero también a unos ocho kilómetros de distancia del mismo, esto con el fin de ver la variabilidad en la composición que puede presentarse en un rango de distancia no tan grande. En la figura 19, se observa cuando algunos participantes del grupo de proyección social de la universidad la Gran Colombia, toman las muestras del terreno.



*Figura 19. Recolección de muestras de tierra*

*Fuente: Laboratorio de fotografía. Facultad de arquitectura*

### **Registro Fotográfico**

Además de la toma de muestras de tierra, también se hizo, previamente, un registro fotográfico, donde se muestra el proceso constructivo que la comunidad, en las mismas, quedan evidenciadas sus principales fallas y falta de prácticas más tecnificadas. Con las fotografías allí capturadas más adelante se desarrollaron esquemas de análisis, como por ejemplo los que se muestran en la figura número (análisis de problemática).

### **Fase Investigativa**

Durante la fase investigativa, se recopiló la teoría suficiente acerca del tema a tratar, remitiéndose a fuentes confiables y comprobables. Se consultó acerca de la construcción en bahareque, se construyó un marco referencial y un marco normativo (agregar más marcos), del mismo modo se recopiló información sobre la construcción en tierra y las características de la misma.

### ***Consulta Bibliografía***

En la consulta bibliográfica, se indagó acerca de la construcción en bahareque y la tierra como material de construcción, se encontró suficiente información entre libros, manuales, y artículos, se consultaron (x número de documentos), con los cuales se desarrollaron los diferentes marcos, presentes en esta monografía, se trató de hacer las consultas directamente en la biblioteca, sin embargo, también se hizo uso de las herramientas tecnológicas.

### ***Aproximación Al Método***

En la metodología, se propuso hacer o trabajar en una fase experimental, para este fin en la salida de campo se tomaron unas muestras de tierra, con las cuales más adelante se hicieron varios ensayos de laboratorio, sin embargo, para la realización de dichos ensayos, primero fue necesaria una aproximación al método, es decir, consultar la bibliografía acerca de los procedimientos que se realizaron, basados principalmente en el método de Wilfredo Carazas, y también el CRAterre de Francia.

### **Fase Experimental**

En esta fase, se tomó como referencia la *Cartilla básica para la construcción de una vivienda en tierra de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín* para la realización de las pruebas de sedimentación o decantación, para la identificación de los tipos de partículas que componen el suelo de la vereda la Virginia, y en qué porcentaje se hallaban las mismas en las muestras de tierra.

basados en la cartilla *Guía de construcción para sísmica de Wilfredo Carazas y Alba Rivero* se realizó la prueba de contracción volumétrica (De la pastilla) y las pruebas de propiedades organolépticas.

También se llevaron a cabo ensayos propuestos por el equipo de investigación con el fin de analizar variables acerca de métodos de extracción de partículas finas, adición de aglutinantes a la mezcla del revoque y espesores y cantidad de capas para el aplicado.

*Propiedades organolépticas*

**TABLA 4. Pruebas de propiedades organolépticas**

<b>Propiedades Organolépticas</b>	
<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>
Inspección visual	Se observan partículas de tamaño grande alrededor de unos 4mm, predominan las arenas en la muestra. Dentro de la inspección visual, con buena iluminación, es posible detectar partículas brillantes de menor medida alrededor de 1 ó 2 mm.
Sensación al tacto	Sensación rasposa o de limado al frotar la muestra de tierra entre las manos, presumible abundancia de arena en la composición de la misma.
Ensayo de olor	Al humedecer la tierra se puede detectar un leve olor a moho o material orgánico presente en la muestra.

*Fuente: Elaboración propia*

### ***Ensayo sedimentación o decantación uno***

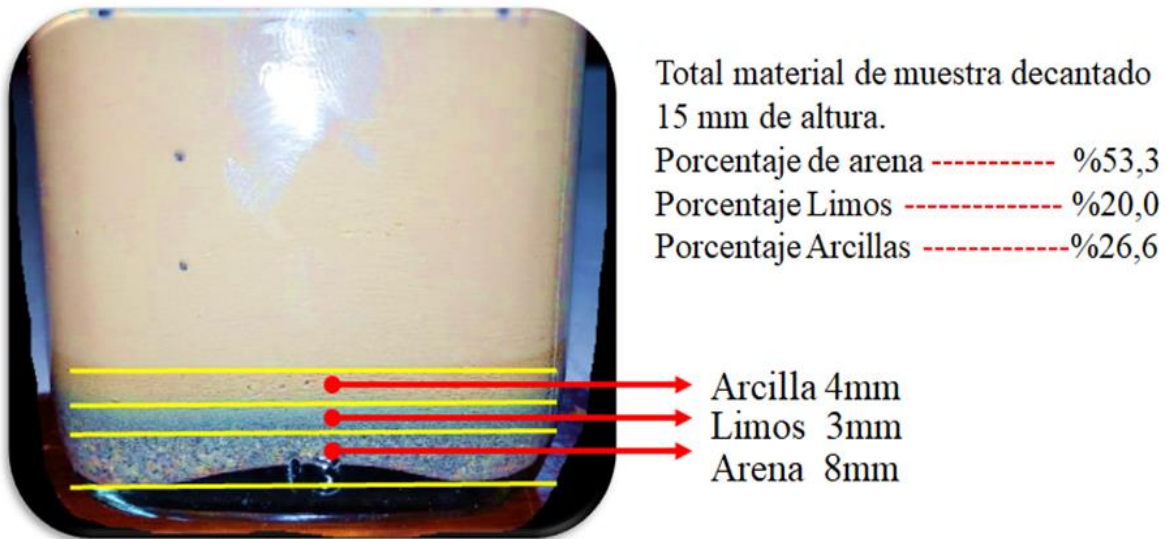
La prueba de decantación, tenía como objetivo, determinar la cantidad y proporción de partículas que componían las muestras de tierra tomadas en la salida de campo, en este caso, se repite la prueba varias veces. En la primera prueba de decantación, se filtró la tierra por un tamiz con malla menor a 4mm.

Cantidad de agua  $\rightarrow$   $\frac{3}{4}$  o 200 cm<sup>3</sup>

Cantidad de tierra  $\rightarrow$   $\frac{1}{4}$  o 50 cm<sup>3</sup>

Recipiente de medida  $\rightarrow$  A= 25,1 cm<sup>2</sup> \* P= 1,8 cm = V= 51,03 cm<sup>3</sup>

Tiempo espera  $\rightarrow$  30 minutos después de agitar.



**Figura 20.** Ensayo de decantación o sedimentación uno

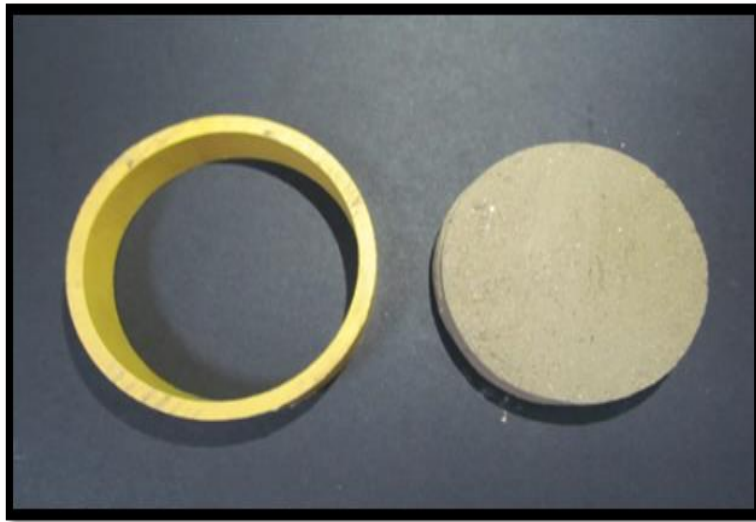
**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 20, se puede ver los resultados que se obtuvieron luego de realizar la prueba de sedimentación, los cuales son parciales, ya que la decantación solo se dio durante 40 minutos. Como se puede observar en la figura (número), la decantación no se dio con totalidad, ya que finalmente no pueden quedar partículas suspendidas en el agua.

### ***Ensayo de contracción volumétrica***

El ensayo de contracción volumétrica, se llevó a cabo para saber qué cantidad de agua podía absorber la muestra de tierra, este se realizó haciendo un tamizado de la misma, las medidas se conocieron calculando el volumen de capacidad del molde, así como el volumen final de la muestra.

Relación de agua → 1- 3  
Volumen inicial → 38,26 cm<sup>3</sup>  
Tiempo de secado → 5 días  
Volumen final → 32,41 cm<sup>3</sup>  
Reacción → Contracción  
Diferencia volumétrica → 5,85 cm<sup>3</sup>



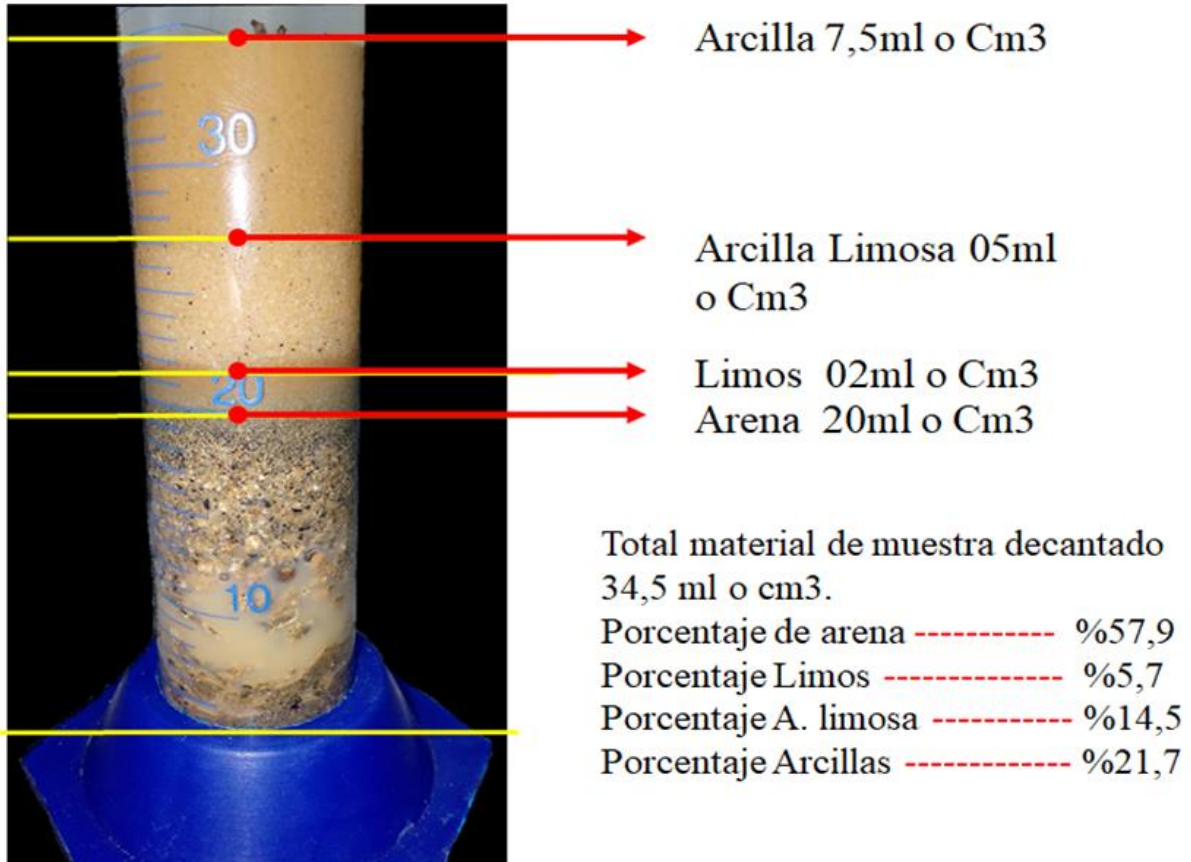
***Figura 21. Ensayo contracción volumétrica.***

***Fuente: Elaboración Propia***

Para la realización de esta prueba, se tomaron tres partes de tierra de 50cm<sup>3</sup>, es decir, 150 cm<sup>3</sup> en total, la cual fue tamizada a través de una malla con una abertura menor a 4mm, dejando solo las partículas más finas, finalmente se adicionaron 50cm<sup>3</sup> de agua para crear una mezcla homogénea, la cual fue puesta en el molde y se dejó secar durante 5 días. En la figura 21, se puede ver el molde que se usó y la pastilla.

### ***Ensayo sedimentación o decantación dos***

Para este ensayo, se utilizó un recipiente con medida en ml, la tierra esta vez no fue tamizada, se incorporó en el recipiente tal como fue tomada la muestra. La cantidad de agua estuvo en una proporción 1a 1 respecto a la tierra.



***Figura 22. Ensayo de decantación o sedimentación dos.***

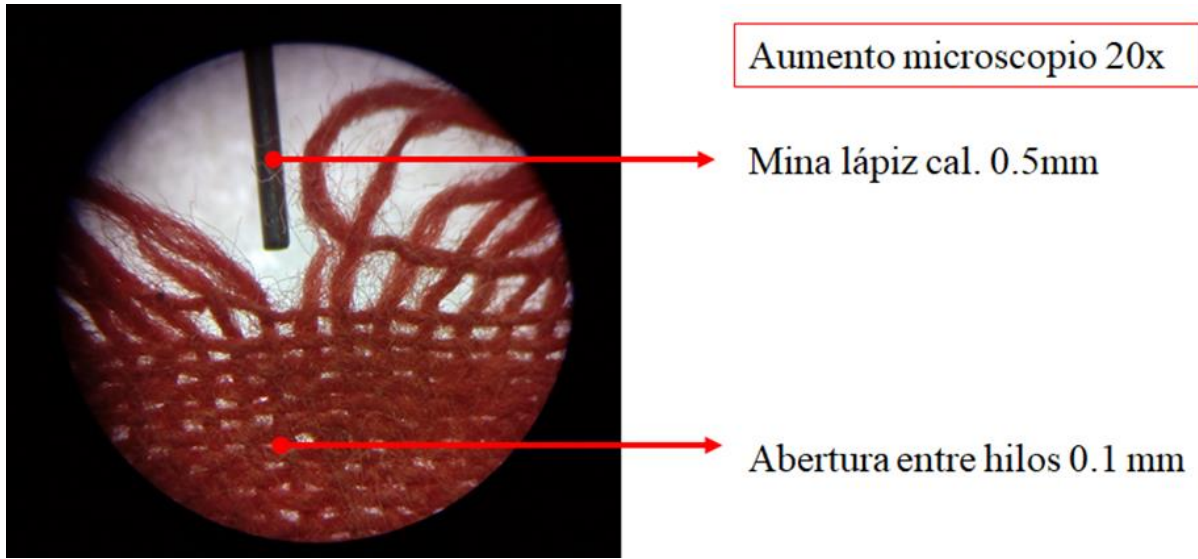
***Fuente: Elaboración propia.***

En la figura 22, se puede observar el resultado de la prueba de decantación sin tamizar, esta fue llevada a cabo en 30 minutos, pero esta vez se utilizó sal (Cloruro de sodio) para acelerar el proceso, (lo cual no modifica los resultados).



***Ensayo de separación granulométrica - Filtración por tejido***

Este ensayo se llevó a cabo con el fin de averiguar el tamaño de las partículas que se podían llegar a extraer por medio de distintos métodos, el propósito general era separar los granos más finos de la muestra de tierra, como se muestra en la figura 23, uno de los métodos que se planteó utilizar, era el filtrado a través de una tela común.



***Figura 23.*** Vista microscópica pieza de tela.

***Fuente:*** Elaboración propia.

Al intentar filtrar las arcillas con ayuda de la tela, fue necesario humedecer la tierra, hasta conseguir el estado líquido, ya que la muestra en estado seco, por el tamaño mínimo (0.1mm) de la abertura entre hilo e hilo, no se filtraba a través de la tela.

### ***Ensayo de separación granulométrica - Sustracción del agua***

Otro método con el cual se experimentó para extraer las partículas finas de la muestra de tierra, fue el de sustracción del agua por evaporación, el líquido actuó como solvente y las micro láminas de arcilla fueron el soluto.

La figura 24, se describen gráficamente los cuatro pasos fundamentales para llevar a cabo el ensayo de separación granulométrica por medio de la sustracción del agua, usando como medio el calor logrando la evaporación de la misma.

Para este proceso de experimentación, los materiales que se usaron fueron básicos, un recipiente de aluminio resistente al fuego, una mechera de alcohol, una espátula y un recipiente para almacenar el producto final.



**Figura 24.** Separación granulométrica - levigación - extracción de líquido.

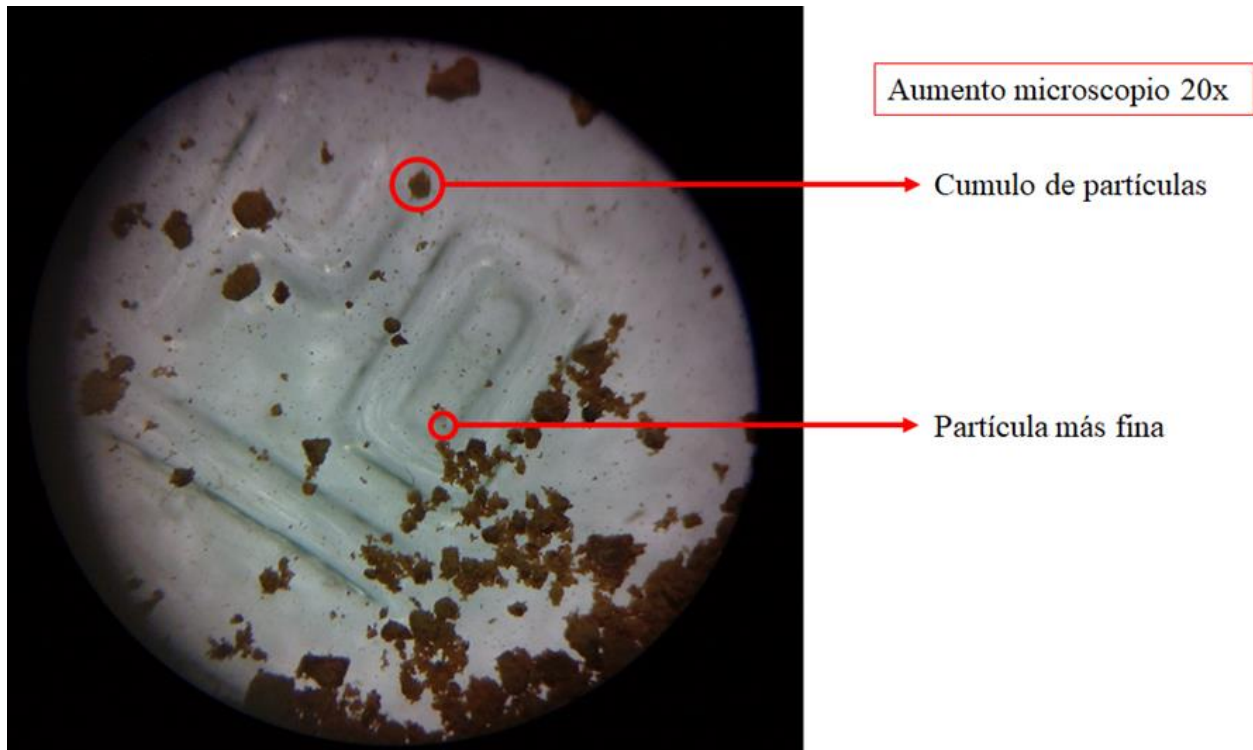
**Fuente:** Elaboración propia.

**Paso uno:** se vertió la solución de agua más arcillas en el recipiente de metal, solo se llenó la base, previamente a esto, se mezcló la muestra de tierra con líquido en una proporción uno a uno en otro recipiente, se dejó decantar alrededor de 30 minutos para que las partículas pesadas como la arena cayeran al fondo y en el solvente (agua) solo quedarán suspendidas las láminas arcillosas.

**Paso dos:** se expuso el recipiente de aluminio que al interior contenía la solución líquida al fuego, para tal proceso se utilizó un mechero de alcohol, la llama que este produce alcanza una temperatura de uno 300c°, suficiente para transmitir calor y evaporar el agua, pero, aun así, se tuvo que aplicar esta temperatura por al menos diez minutos para lograr extraer toda el agua de la mezcla.

**Paso tres:** una vez evaporada el agua, al fondo del recipiente metálico quedó adherida una capa muy fina de arcilla, para extraerla fue necesario rasparla del interior con una espátula, produciendo poco a poco un fino polvo.

**Paso cuatro:** finalmente, habiendo extraído la capa fina de arcilla del interior del recipiente metálico con ayuda de la espátula, el polvo resultante se depositó en un pequeño frasco de vidrio con el fin de preservarlo y luego observar bajo el microscopio como se puede apreciar en la figura 25.



*Figura 25. Vista microscópica de polvo arcilloso.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### ***Ensayo de resistencia a la fisura***

En este ensayo se probó la resistencia que tenía o podía tener una pastilla circular, elaborada con la muestra de tierra del lugar, pero aplicando un proceso de tamizado o separación granulométrica fina con una malla de abertura de 1 milímetro.



**Figura 26.** Ensayo resistencia a la fisura.

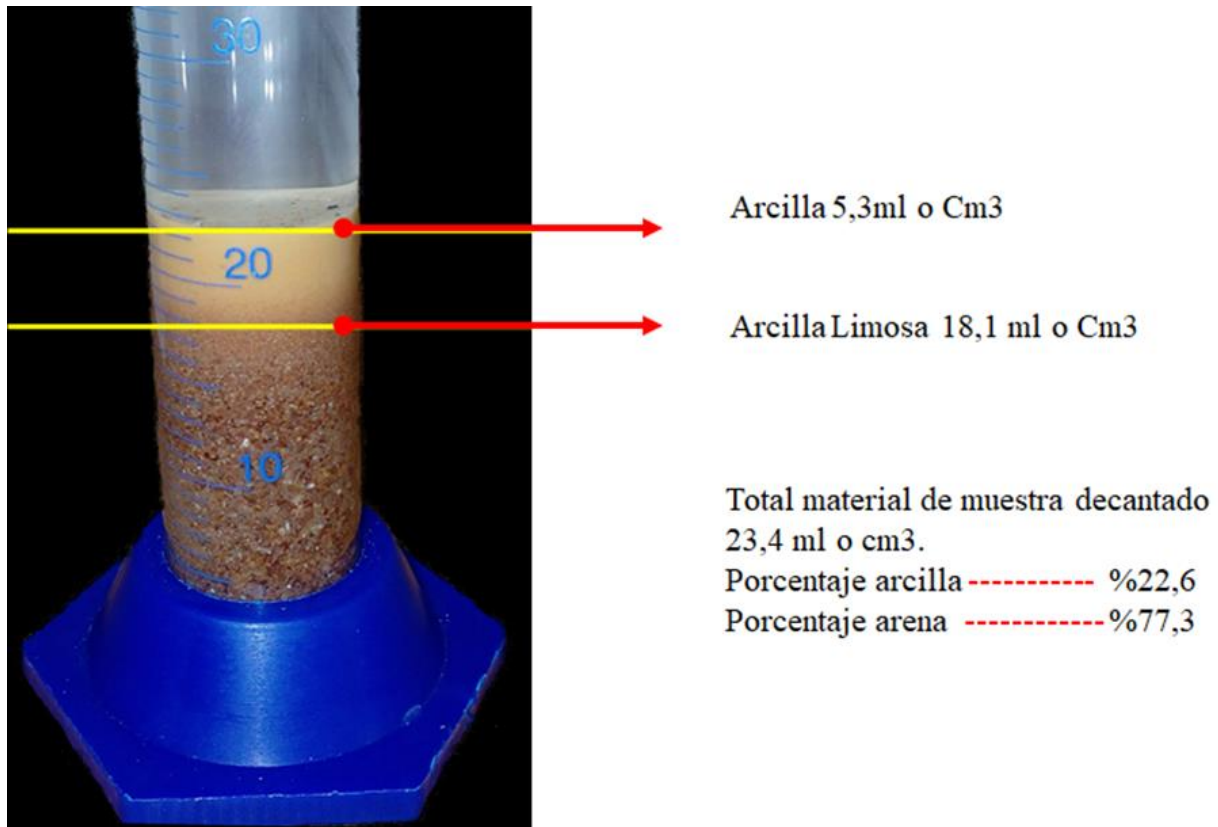
**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 26, se puede observar como la resistencia de la muestra tamizada resultó ser mayor a la de referencia, la cual falló fisurándose y dividiéndose en dos con relativa facilidad al aplicar fuerza de una persona adulta, sin embargo, cuando se imprimió esta misma presión a la pastilla elaborada con tierra del lugar esta no pudo ser fisurada.

Se ensayó que tan fácil era desmoronar ambas pastillas, una vez más, la muestra con selección granulométrica fina ofreció una resistencia mayor a la de referencia, haciéndose muy difícil de desintegrar. La muestra de referencia con la que se comparó la pastilla elaborada con la tierra del lugar, posee las propiedades óptimas para la construcción del bahareque, la proporción o dosificación con las que elaboraron ambas, fue de 1:1, sin embargo, como ya se ha mencionado, un paso por un proceso de selección granulométrica.

### ***Ensayo decantación para prototipo***

Para la construcción del prototipo decidió utilizarse tierra de Mondoñedo, un lugar cercano a Bogotá, (Adquirida de la empresa colombiana TerraTEC), pero que presentaba una composición granulométrica similar a la de las muestras extraídas de la vereda la Virginia en chaparral Tolima. Se llevó a cabo el ensayo de decantación para probar la similitud de la tierra.



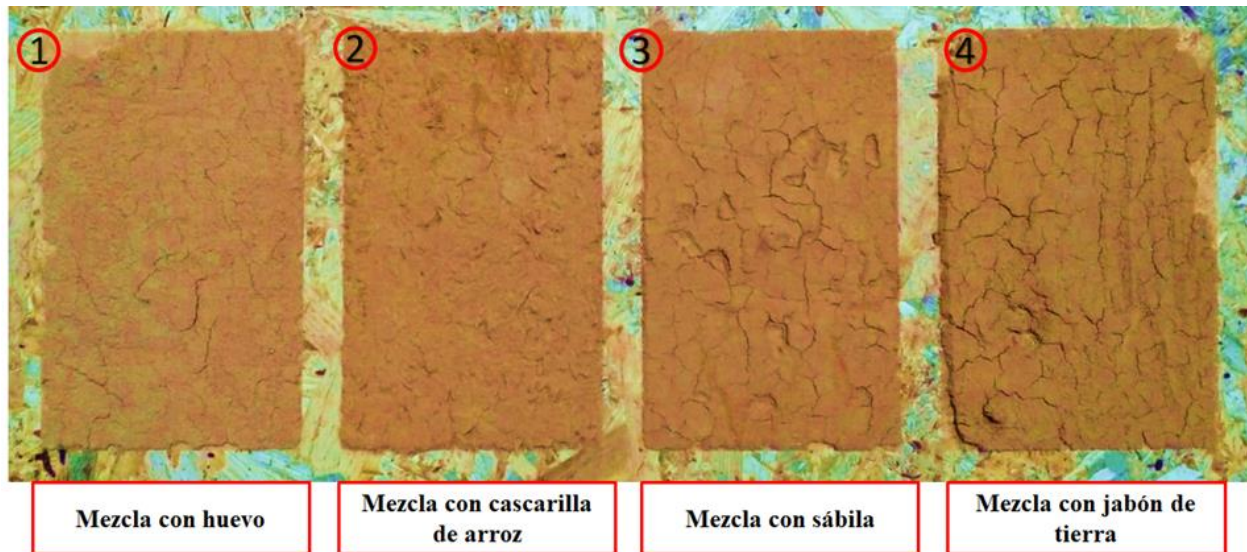
***Figura 27. Decantación tierra de Mondoñedo.***

***Fuente: Elaboración propia***

Se agregaron a la probeta 23,4 cm<sup>3</sup> de tierra, la decantación se hizo con una dosificación de 1.1 es decir que se sumó la misma cantidad de agua, es decir uno 23 ml o cm<sup>3</sup>, el proceso se aceleró haciendo uso de sal (cloruro de sodio) con lo cual se obtuvieron los resultados finales en 40 minutos luego de agitar la mezcla. ver figura 27.

### ***Ensayo de aditivos naturales***

Se llevó a cabo este ensayo, con el fin de averiguar qué aditivo o aglutinante natural podría ayudar a la mezcla del pañete en su resistencia y evitar la fisura, con dicho fin se procedió a aplicar las mezclas respectivas en un módulo de madera (tabla), y esperar el tiempo de secado suficiente para observar el resultado final. en la figura 28, se puede observar las diferentes pruebas que se realizaron.

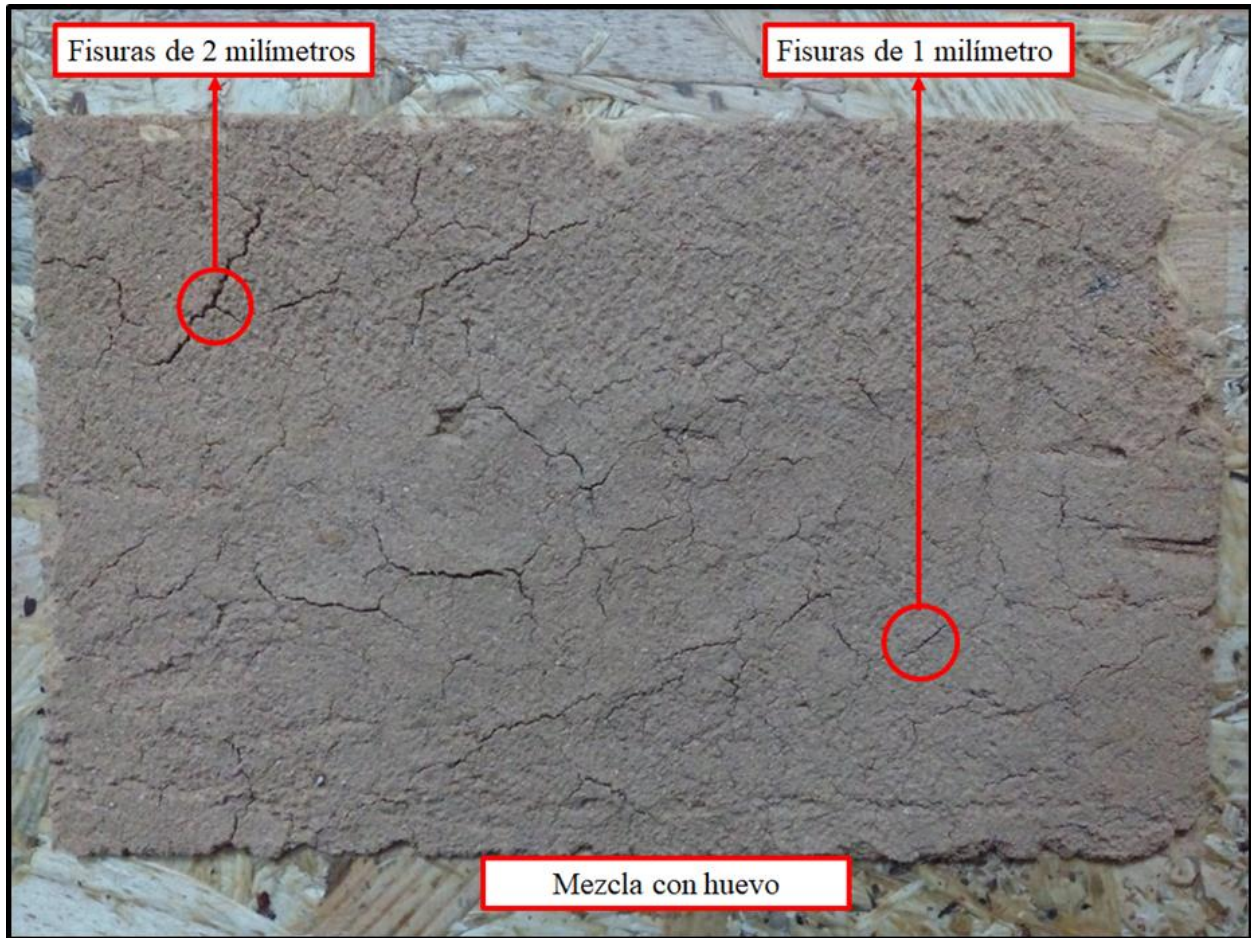


***Figura 28. Ensayo de aditivos naturales.***

***Fuente: Elaboración propia.***

Las mezclas para las pruebas se llevaron a cabo controlando las proporciones de materiales, así como los tiempos de secado, esto con el fin de contar con los mismos factores en el proceso de cada una y obtener los resultados correctos sin variaciones más allá de las dadas por los componentes, es decir que las diferencias en cada muestra solo se debieran a la composición de cada una. Entre las pruebas realizadas se tomó una de las mismas como referente, la cual se realizó en un módulo aparte, pero con las mismas características; como está descrito se trata de la tierra simplemente tamizada, pero sin aditivos naturales para el mejoramiento.

**Mezcla con huevo:** En este caso se utilizó la clara de un huevo de tamaño corriente en mezclado con tierra y agua en dosificaciones 2:1, el recipiente con que se midieron las cantidades tenía una capacidad de 900 cm, sin embargo, cada unidad en la proporción fue de 200 cm<sup>3</sup>. Se aplicó una capa de mezcla sobre la tabla con un espesor de 3 a 4 milímetros.

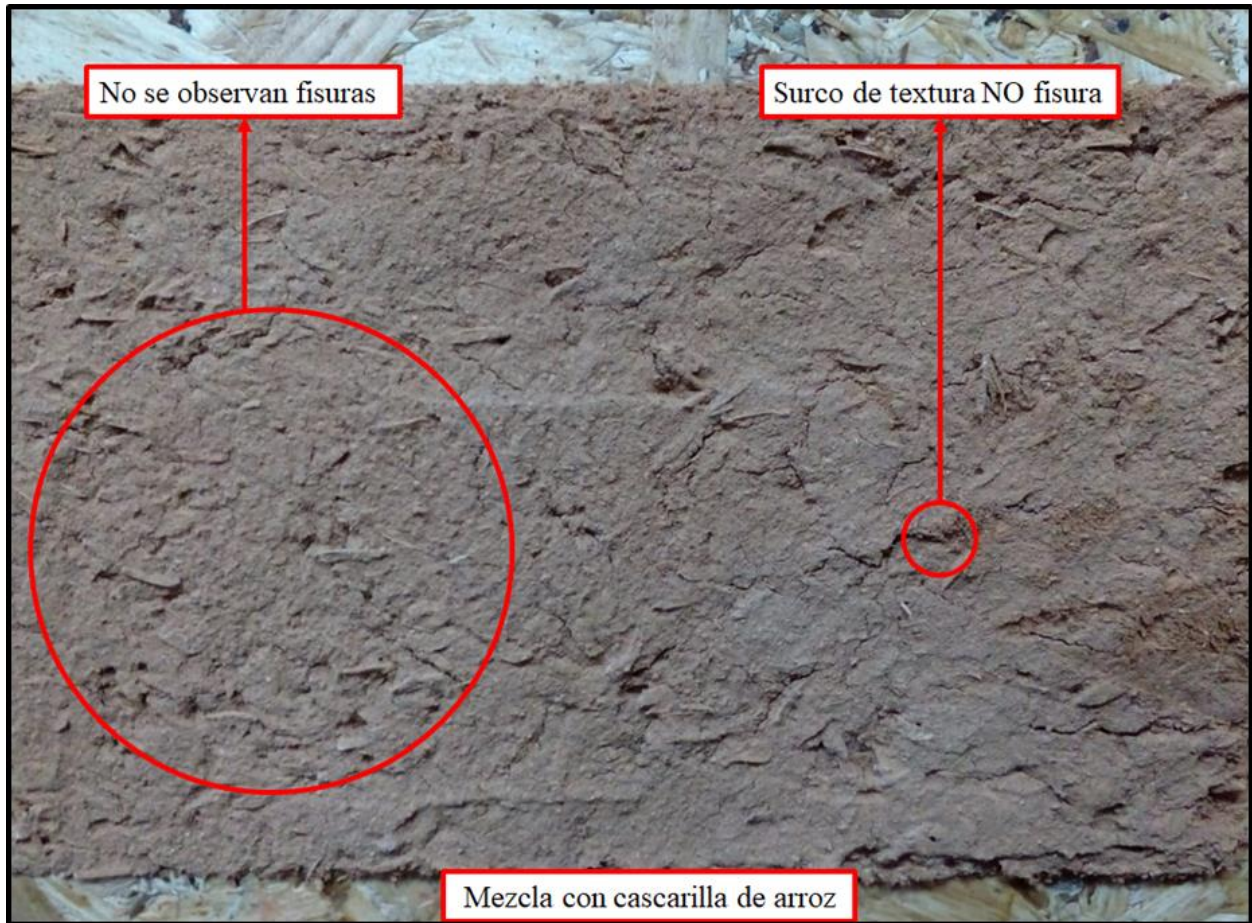


*Figura 29. Mezcla con clara de huevo.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 29, se puede observar la presencia de pequeñas fisuras, sin embargo, las mismas no son tan profundas ni de mayor espesor. Al pasar el dedo índice de la mano frotando la muestra está no desprendió partículas o al menos no en gran magnitud, como si se vería en otras de las muestras realizadas.

**Mezcla con cascarilla de arroz:** Para esta prueba la dosificación que se utilizó fue 2:1:1 es decir, dos partes de tierra tamizada, una de cascarilla de arroz y una de agua, la mezcla se realizó en un recipiente con capacidad de 900 cm<sup>3</sup> y cada unidad de la proporción fue de 200 cm<sup>3</sup>, se aplicó una capa sobre el módulo de 3 a 4 milímetros en promedio.



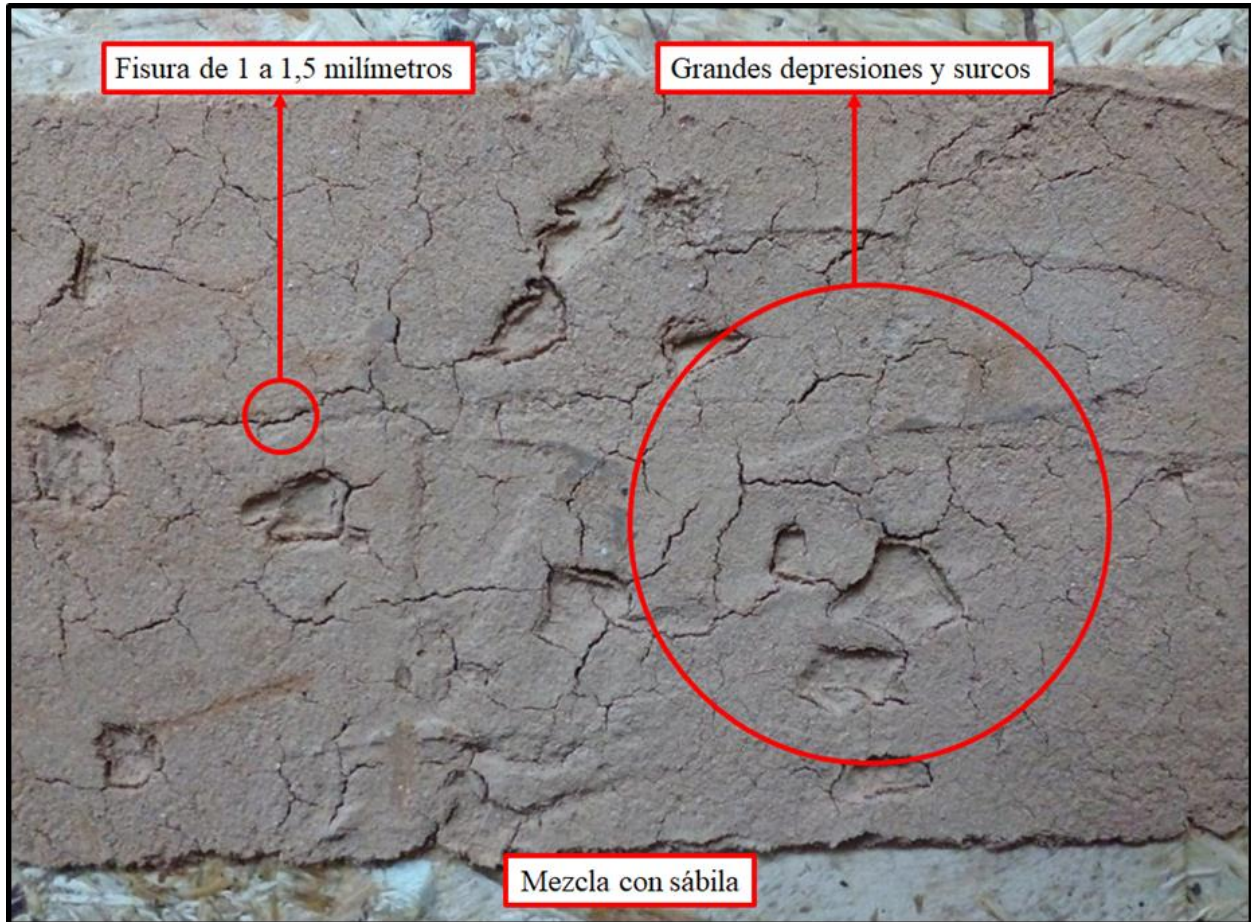
*Figura 30. Mezcla con cascarilla de arroz.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En esta muestra, después de dejar secar durante tres días y sin acelerar el proceso utilizando fuentes externas de calor, no se observó fisuramiento de la misma, ver figura 30, se pudieron evidenciar algunos surcos dada la textura que genera la cascarilla del arroz. Al pasar el dedo índice sobre la superficie de la muestra, está libero partículas de manera muy leve.



**Mezcla con sábila:** En esta mezcla se extrajeron alrededor de cinco gramos de pulpa de la hoja de sábila, fueron cortados en pequeños fragmentos, pero no se maceraron, seguidamente se adicionaron a la tierra y al agua las cuales fueron dosificadas en proporciones 2:1, mezcladas en un recipiente con capacidad para 900 cm<sup>3</sup>, las unidades en la proporción fueron de 200cm<sup>3</sup>, se aplicó una capa sobre el módulo de madera con un espesor de entre 3 a 4 mm.



*Figura 31. Mezcla con sábila.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se observa en la figura 31, se produjeron algunas fisuras o grietas después de 3 días de secado, además, los fragmentos de sábila redujeron su tamaño creando significativas depresiones en la capa. Al pasar el dedo sobre la muestra se liberan algunas partículas.

**Mezcla con jabón de tierra:** Para este ensayo, se agregó jabón de tierra a la mezcla, esto se hizo disolviendo un poco del mismo hasta crear espuma en el agua que posteriormente se agregó, la dosificación de la mezcla fue 2:1, pero como ya se explicó en este caso el agua cambió sus propiedades gracias a la disolución del jabón de tierra. La muestra se dejó secar durante 3 días sin acelerar el proceso con fuentes externas de calor, se aplicó en una capa de 3 a 4 milímetros de espesor.

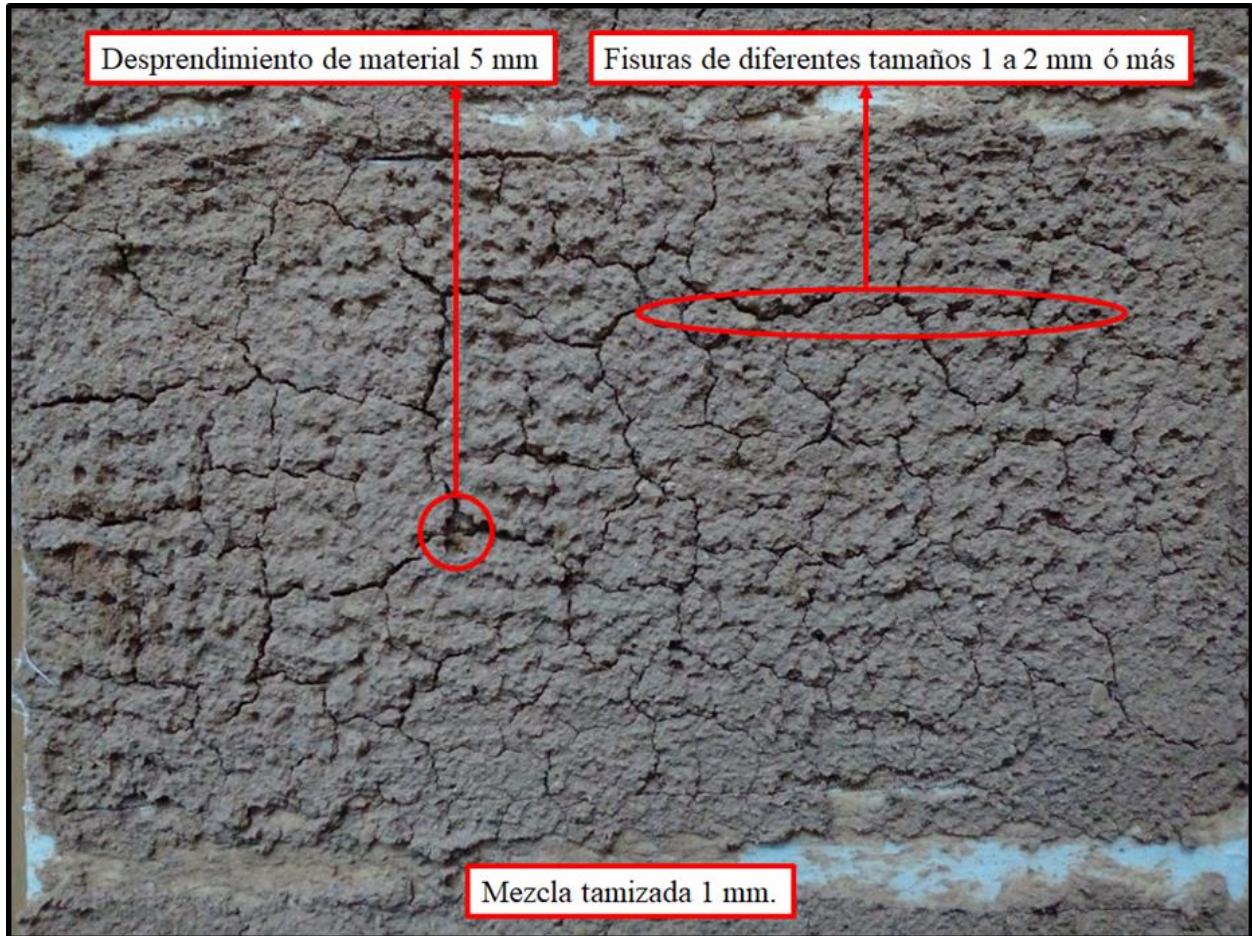


*Figura 32. Mezcla con jabón de tierra.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Como se observa en la figura 32, la mezcla con jabón de tierra presentó grietas y fisuras de diferentes tamaños e incluso la caída de la capa (desprendimiento de material) en los bordes y esquinas del módulo. Al pasar el dedo por la muestra hubo un ligero desprendimiento de partículas.

**Mezcla tamizada (de control):** En este caso no se agregaron aditivos aglutinantes a la mezcla, simplemente se hizo tamizado de la misma con una malla de abertura de 1 mm, la aplicación consto de una capa con un espesor de entre 3 a 4 mm sobre lienzo, la dosificación fue de 2:1, el tiempo de secado duro 3 días, sin acelerar el proceso con fuentes de calor externa. Se dio textura a la capa con un cepillo de cerdas de acero.



*Figuran 33. Mezcla tamizada 1 mm.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 33, se observa cómo se presentaron fisuras y grietas de diferentes tamaños, además se evidenció la pérdida o caída de algunos fragmentos de material. Al pasar el dedo sobre la muestra, se liberaron algunas partículas de tierra, sin embargo, esto no se dio en gran magnitud a pesar de no haber agregado ningún tipo de aglutinante natural a la mezcla.

## **Fase Analítica**

Abordadas las etapas anteriores, se analizaron los resultados obtenidos, con base en la bibliografía consultada, después se elaboró una propuesta de mejora al problema de desmoronamiento y fisura del pañete respecto a las conclusiones determinadas en el análisis, seguidamente, se puso a prueba la propuesta de mejora, desarrollando un prototipo a escala 1:1 que permitiera evidenciar la validez o no del proyecto.

### ***Análisis de resultados***

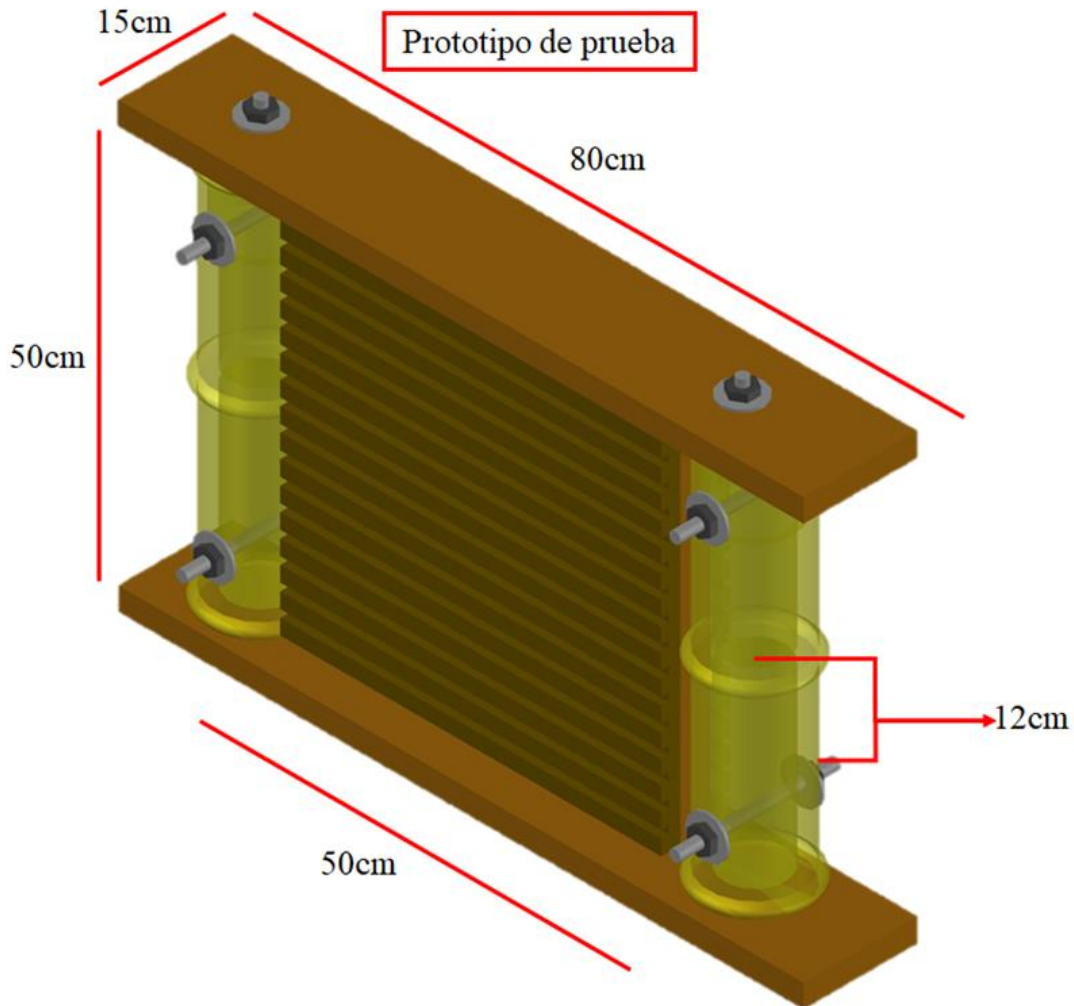
Se analizaron los resultados de los ensayos realizados con la muestra de tierra extraída del lugar, algunos arrojaron datos cuantitativos y otros cualitativos con estos se llegó a conclusiones concretas acerca de las causas del problema presentado en las construcciones de bahareque en la vereda la Virginia, el cual debía ser solucionado para la construcción del proyecto que se llevaría a cabo en el lugar.

### ***Propuesta de mejora***

Con las conclusiones acerca de las causas del problema (desmoronamiento, caída y fisura del pañete) se desarrolló una propuesta de mejora para dar solución en la construcción de un proyecto futuro (centro multipropósito). Para la elaboración de la propuesta además de hallar las causas haciendo uso del método experimental, de igual modo, por medio de ensayos de laboratorio se buscaron soluciones, más adelante se pusieron a prueba en un prototipo comparativo. La propuesta de mejora tuvo en cuenta varios factores además de la composición de los materiales y su granulometría con los que se hacía el revoque, uno de ellos fue el espesor de las capas, el tiempo de secado y la superficie de aplicación. Finalmente se propuso aplica 3 capas de revoque sobre esterilla de guadua, de un espesor de 3 a 5 milímetros cada una, con una granulometría tamizada máximo de 1 mm, la capa base se propuso sin aditivos, la segunda con fibra y el acabado se hizo Cal y PVA principalmente.

### ***Desarrollo de prototipo***

Se elaboró un prototipo comparativo a escala 1:1 replicando los materiales usados en la comunidad, haciendo un proceso técnico, aplicando la propuesta de mejora para comprobar su validez o no.

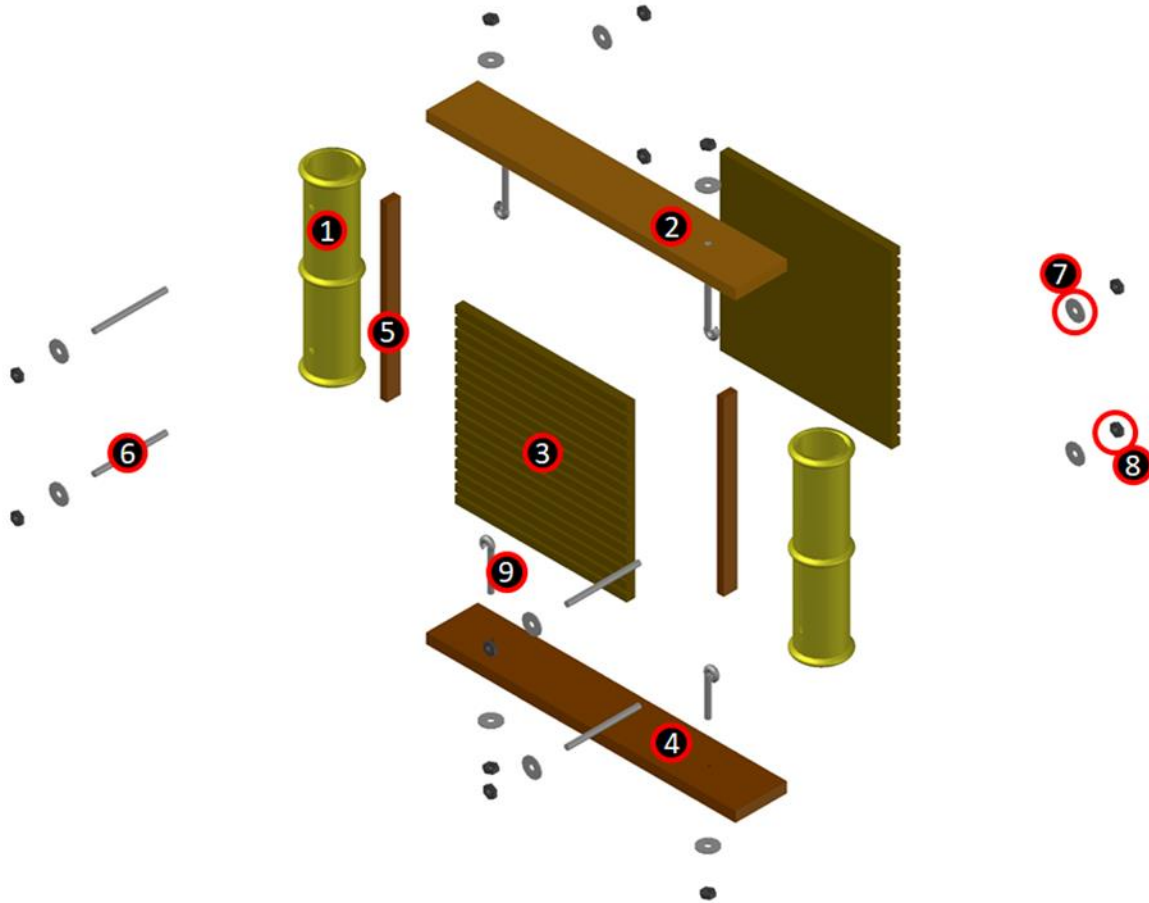


***Figura 34. Dimensiones del prototipo.***

***Fuente: Elaboración propia.***

En la figura 34 se puede observar las dimensiones con las que se planeó construir el modelo de pruebas, lo cual se realizó más adelante con las dimensiones acordadas, la caña brava o caña pindo utilizada en la comunidad se sustituyó por esterilla de guadua, esto con el fin de representar la correcta estructuralidad de un proyecto a realizar allí.

### *Elementos del prototipo*

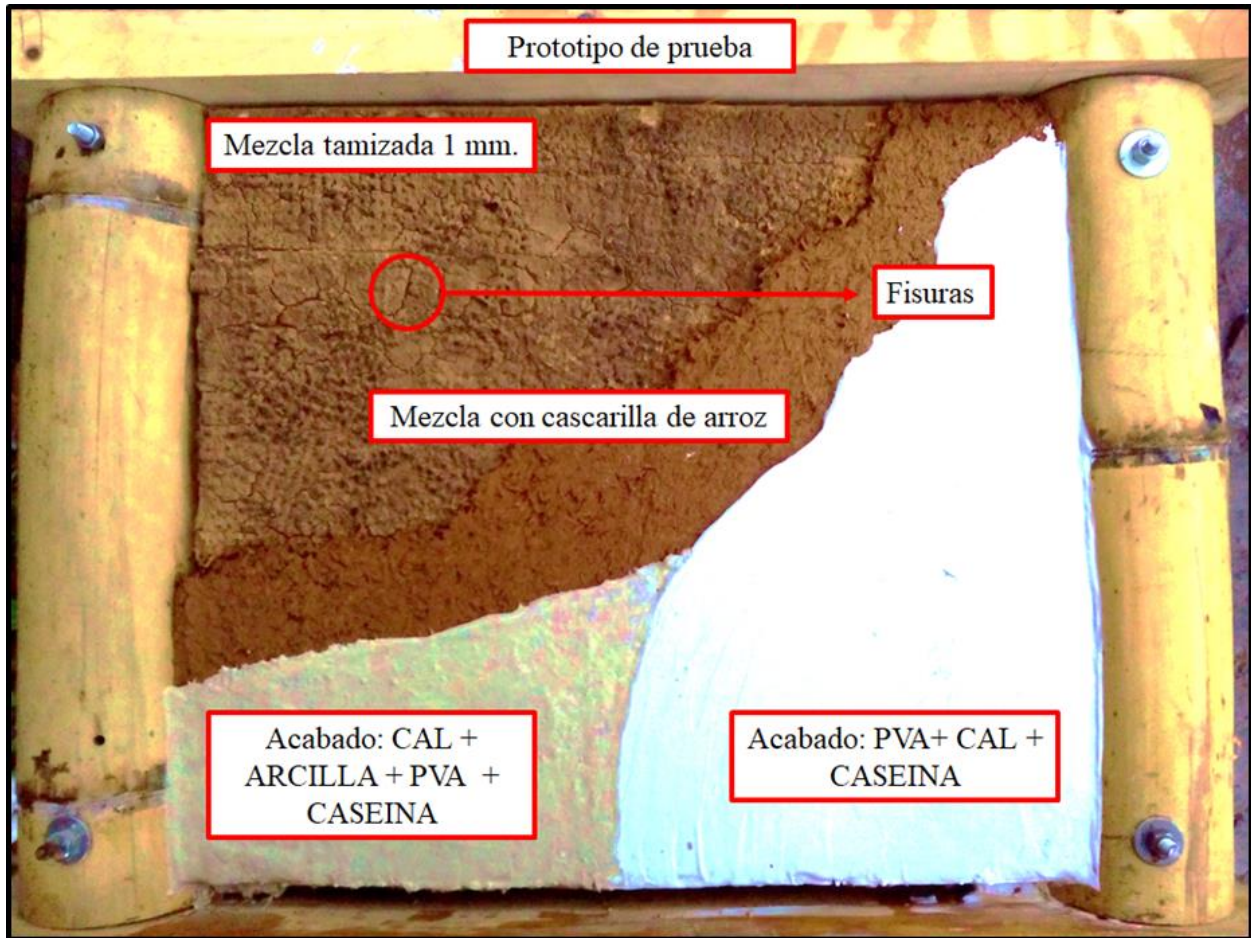


*Figura 35. Elementos del prototipo.*

*Fuente: Elaboración propia.*

1. Guadua angustifolia kunth, pie derecho, dimensiones 50cm altura, diámetro 12cm.
2. Carrera en madera aserrada, dimensiones 80x12x4 cms.
3. Esterilla de guadua, clavada con puntillas de acero de 1”.
4. Solera en madera aserrada, dimensiones 80x12x4 cms.
5. Listón o durmiente de madera aserrada, clavada a pie derecho con puntillas de acero de 1”, dimensiones 4x4x50 cms.
6. Perno metálico roscado de  $\frac{3}{8}$ ”.
7. Arandela metálica de  $\frac{3}{8}$ ”.
8. Tuerca metálica  $\frac{3}{8}$ ”.
9. Gancho tensor roscado de  $\frac{3}{8}$ ”.

### *Aplicación del prototipo*



*Figura 36. Prototipo final.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Una vez construido el módulo, se procedió a aplicar las diferentes capas de material, esto basado en los resultados obtenidos anteriormente en los ensayos de mezclas y como fundamento teórico en la cartilla Guía de Construcción Parasísmica de Wilfredo Carazas y Alba Rivero.

La primera capa aplicada directamente sobre la esterilla de guadua, fue tamizado con una malla de abertura de 1 mm, la dosificación fue de 2:1, no se agregaron aglutinantes naturales, se dio textura con un cepillo de cerdas de alambre, el tiempo de secado de esta capa fue de dos días, la capa tuvo un espesor de 3 a 5 milímetros.

En las pruebas realizadas anteriormente sobre el módulo de madera, se observó el fisuramiento de la capa de tierra tamizada sin aditivos (ver figura 36), sin embargo, se aplicó sobre la esterilla esta mezcla ya que se consideró la variable de la rigidez de la superficie de aplicación, ofreciendo la anteriormente mencionada esterilla una posible mayor movilidad en cuanto a dilatación y contracción respecto a una tabla de madera rígida.

Al observar los resultados obtenidos en el prototipo después del secado de la primera capa de tierra, se decidió hacer la segunda aplicación con una variación, haciendo uso de una de las pruebas en el ensayo de aditivos naturales, específicamente se optó por aplicar a la mezcla a la cual se le adiciono cascarilla de arroz, (ver figura 30) debido al buen comportamiento que la misma presentó respecto al fisuramiento y al desprendimiento de partículas, se aplicó con un espesor de 3 a 4 milímetros.

Para el acabado del muro, no se realizaron ensayos anteriores por parte del equipo de investigación, sin embargo, se llevó a cabo con base a la práctica observada en el video de título: *Manual de Terreno Tierra Cruda (CDT) - Revoque de barro*, de la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de Construcción, consultado en noviembre 28 del 2018 a través de la plataforma digital YouTube.

En el video anteriormente mencionado se propuso una mezcla de Cal + Polivinilo de acetato + leche entera + agua, en una dosificación 3:1:2:4, dicha mezcla se replicó en las proporciones vistas y se aplicó en el modelo de estudio sobre la segunda capa de revestimiento con un espesor de 3 milímetros aproximadamente. Finalmente se realizó a modo experimental en una sección del modelo destinada para este fin, la aplicación de una capa de acabado con una variación respecto a la anterior propuesta por el CDT de Chile, en este caso se reemplazó la mitad de la Cal por arcilla y partículas finas de tierra, es decir Cal + Arcilla + Polivinilo de acetato + Leche + Agua, en consecuencia la dosificación quedó de esta manera 1 ½:1 ½:2:4, al igual que la primer capa de acabado esta contó con un espesor de 3 milímetros. ver figura 23.



## RESULTADOS

### Resultados de pruebas

Sedimentación o decantación uno: Con esta prueba se pudo evidenciar que el nivel de arena y partículas grandes en general era demasiado alto, incluso después de aplicar un tamizado usando una malla de abertura menor a 4mm. Finalmente se obtuvo como resultado un total de arena del 53% en la muestra decantada, (ver figura 20).

Contracción volumétrica: Este ensayo dio como resultado algo previsible, una contracción volumétrica baja dado que las partículas que absorben agua en mayor medida, no eran tan abundantes en la muestra extraída. La contracción final luego de 5 días de secado fue de solo 5,85 cm<sup>3</sup>, (ver figura 21).

Sedimentación o decantación dos: Los resultados que se obtuvieron para esta prueba fueron similares a los que se dieron en el ensayo de decantación uno, sin embargo, hubo dos factores diferenciales en la misma, en primer lugar, no se tamizó la muestra, y como segunda medida se aceleró el proceso haciendo uso de cloruro de sodio. Finalmente se obtuvo como resultado un total de arena del 57,9% en la muestra decantada, es decir un porcentaje bastante alto, (ver figura 22).

Separación granulométrica - Filtración por tejido: El ensayo dio un resultado negativo, la abertura o espacio entre hilo e hilo era diminuto, de 0,1 mm, por lo cual se planteó usar un solvente (agua) para capturar las partículas más finas y que estas pasaran entre la tela, sin embargo, tampoco dio resultado ya que los pequeños hilos absorbieron la solución hinchándose y cerrando la abertura entre ellos, (ver figura 23).

Separación granulométrica - Sustracción del agua: El ensayo dio un resultado negativo, ya que al extraer el agua de la mezcla (agua más arcilla), por medio de la evaporación el proceso implica un gasto de energía importante, el tiempo invertido es demasiado y la cantidad de polvo de arcilla obtenido es mínimo, lo cual hace al método ineficiente. ver figura 24.

Ensayo de resistencia a la fisura: En esta prueba se obtuvo un resultado positivo, debido a que el propósito de la misma era probar la hipótesis donde se propone que al tamizar la tierra, haciendo la separación granulométrica las partículas más finas, el material resultante ofrecería mayor resistencia. La muestra que se tamizó, no pudo ser partida fácilmente por una persona., mientras que la pastilla de referencia falló fácilmente. ver figura 26.

Ensayo decantación para prototipo: Se estableció que la tierra adquirida contenía una composición granulométrica similar a las muestras extraídas de la vereda la Virginia, los porcentajes de arcilla en ambas fue de 20-25%, las arenas entre un 75-80 %. ver figura 27.

Ensayo de aditivos naturales: Se obtuvo un resultado positivo, ya que se encontró al menos una alternativa adecuada para resolver el problema de fisuramiento en el revoque. La prueba que mejores resultados dio fue la número dos, (ver figura) la cual contenía cascarilla de arroz, la dosificación que se utilizó fue 2:1:1, en esta prueba no se observó fisuramiento y aunque el desprendimiento de partículas resultó levemente mayor que el obtenido en la muestra uno, (Realizada con clara de huevo) está presentó pequeñas grietas, mientras que la ya mencionada muestra con cascarilla de arroz tuvo un comportamiento excelente en este aspecto, por lo cual en un balance de favorabilidad la mezcla con cascarilla de arroz resultó ser la más adecuada. Respecto a la muestra realizada con sábila, y jabón de tierra el resultado fue deficiente en comparación a los obtenidos con las otras mezclas de aglutinantes naturales, ya que ambas presentaron fisuración y agrietamiento en mayor medida y de igual modo desprendimiento de partículas. ver figura 28.

Aplicación del prototipo: Finalmente se desarrolló el prototipo, en él se pudo observar que solo mediante la selección granulométrica podía lograrse un resultado favorable, pues a pesar de presentarse grietas y fisuras leves en la primer capa aplicada, (a la cual simplemente se le realizó un proceso de tamizado), no hubo desprendimiento de material, aunado a esto debe considerarse que la capa se aplicó sobre la esterilla simplemente humedecida sin hacer inclusión en el modelo de mallas o elementos que pudiesen brindar un agarre adicional. En la segunda capa se obtuvo un resultado (cascarilla de arroz) óptimo, no se presentó fisuramiento ni desprendimiento de partículas, teniendo en cuenta que por cuestiones organizacionales se tuvo que mover el módulo de un lugar a otro. Respecto al acabado, se realizaron dos pruebas ya descritas en este documento en el numeral; 4.4.3.2 Aplicación del prototipo, ambas dieron excelentes resultados, no presentaron fisuras ni agrietamientos, al hacer una inspección al tacto se pudo sentir una superficie lisa

posiblemente repelente al agua, en la capa de acabado a la cual se le agrego arcilla se creó una superficie un poco grumosa, sin embargo, el PVA, actuó correctamente en la mezcla otorgando posiblemente una buena impermeabilidad. No se puede aseverar la impermeabilidad de las capas de acabado debido a que por parte del equipo de investigación no se realizaron estas pruebas, sin embargo, como referente se tomó el proceso del CDT de la Cámara Chilena de la Construcción, ya descrito en este documento en el numeral; 4.4.3.2 Aplicación del prototipo, dicha entidad lleva en función desde 1989 y cuenta con gran experiencia en el ámbito de la construcción. Ver figura 36.

### **Resultados de la investigación**

El resultado de la investigación fue exitoso: se comprobó que, al llevar a cabo el proceso de selección granulométrica, se solucionó parte del problema de fisuramiento de la capa exterior del bahareque, además se tuvieron en cuenta factores como el espesor de la capa, la adición de aglutinantes naturales y un acabado especial para construcciones en tierra cruda que protege el pañete contra la humedad, volviéndolo impermeable, lo cual complemento de forma positiva la propuesta de mejora convirtiéndolo en un sistema de revoque resistente y perdurable.

Se pudieron observar algunas grietas en la primera capa debido al movimiento del prototipo, las cuales se dieron en sentido de las fibras de la esterilla, sin embargo, son factores que no se presentarían en una construcción real, lo que descartaría los daños; las fisuras de menor magnitud son producto de la contracción del material arcilloso cuando pierde humedad, lo cual es un resultado esperado, pero que no tiene mayor incidencia en el comportamiento final del pañete.

Se agregaron aglutinantes naturales en la segunda capa, con el fin de reducir las fisuras presentadas en la primera, los cuales trabajan por medio de adherencia mecánica, generando una mayor cohesión entre las partículas de la mezcla; así mismo esta capa cumple la función de llenar los espacios que se dejan las fisuras de la primera capa, generando mejor agarre entre capa y capa.

Se propuso dos tipos de acabados para la impermeabilización del pañete, ambos dieron buen resultado comportándose eficientemente, al no presentar fisuras, caída o protuberancias y presentando un acabado óptimo.

## **CONCLUSIONES**

- Se puede concluir que la tierra del lugar de estudio, para ser utilizada en el proyecto previsto allí, debe ser mejorada mediante un proceso de selección granulométrica, adición de aglutinantes naturales y un buen acabado que proteja el pañete contra agentes climáticos y biológicos.
- También, es importante la tecnificación del proceso constructivo que la comunidad maneja, ya que elementos como el entramado juegan un papel fundamental en la adherencia del pañete.

## **RECOMENDACIONES**

- Inicialmente se recomienda hacer un proceso de capacitación para la comunidad sobre el manejo tecnificado de la tierra para usarlo como pañete en las construcciones.
- Se recomienda poner en practica la propuesta de mejora establecida en la presente investigación, la cual garantiza el buen comportamiento y durabilidad del pañete en construcciones en bahareque tradicional.
- Es importante realizar pruebas de impermeabilización en los acabados propuestos, para verificar su correcto funcionamiento.
- Realizar proceso de levigación solo si la tierra cumple con una composición granulométrica con un porcentaje mayor o igual al 50% de material arcilloso.

## REFERENCIAS

Arango, Silvia (1990). Historia de la Arquitectura en Colombia, Bogotá: Centro Editorial. Universidad Nacional de Colombia.

Carazas, W. y Rivera, A. (2002). BAHAREQUE: GUÍA DE CONSTRUCCIÓN PARA SÍSMICA. Villefontaine Cedex, Francia: CRATerre

Orozco Arria, Enrique (2005). La técnica de construcción en tierra como valor de la vivienda en la ciudad de San Cristóbal. *Tecnología y Construcción*

Pineda Uribe, Juan Carlos (2017). Características y patologías constructivas del bahareque tradicional en la vereda San Pedro del municipio de Anserma (Caldas). *universidad nacional de Colombia*

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2004). Tecnología en la erradicación de la pobreza. Río de Janeiro: IBAM – CPU Centro de Estudios e Pesquisas Urbanas.

Neobux, A. (13 de febrero de 2015). Propiedades del cuarzo [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://lapisexcelis.blogspot.com/>

García, P., Sánchez, L., Campos, J., Marques, J., Barniskyte, C., Ramírez, J & Domínguez, I. (23 de febrero de 2011). Instrucciones para elaborar adobes y repellos [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://habitatydesarrollo.wordpress.com/category/grupos-de-trabajo-2011-12/bioconstruccion/>

Secretaría de Economía. & Coordinación general de minería (2014). Perfil del mercado del feldespató. Recuperado de [https://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacionSectorial/minero/pm\\_feldespató\\_2014.pdf](https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_feldespató_2014.pdf)

Guira, C, Valcárcel, E.C.M, & Pagliolico, S. (2013) Construcción con tierra, proyectos de difusión y transferencia tecnológica para contextos de emergencia. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción en Tierra SIACOT*, 5.

Pinos, J, & Baculima, T. (2014). Recuperación del sistema constructivo en la técnica del bahareque en la contemporaneidad (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Asociación Nacional de Fabricantes de Morteros Industriales. (2008). Colocación de baldosas cerámicas y otros recubrimientos rígidos modulares. Recuperado de [https://www.anfapa.com/downloads/63\\_monografia-morteros-adhesivos-y-materiales-de-rejuntado-nueva-version.pdf](https://www.anfapa.com/downloads/63_monografia-morteros-adhesivos-y-materiales-de-rejuntado-nueva-version.pdf)

## **BIBLIOGRAFÍA**

[http://www.redproterra.org/uploads/publications/Construccion\\_con\\_Tierra\\_2\\_2006.pdf](http://www.redproterra.org/uploads/publications/Construccion_con_Tierra_2_2006.pdf)

<http://secretariainfraestructura.antioquia.gov.co/descargas/SistemasConstructivosSolucionesVivienda/cartillaBasica-ConstruccionViviendaTierra.pdf>

<https://nl.m.wikipedia.org/wiki/Bestand:Zandlineaal-schuin.jpg>

[https://www.anfapa.com/downloads/63\\_monografia\\_morteros-adhesivos-y-materiales-de-rejuntado-nueva-version.pdf](https://www.anfapa.com/downloads/63_monografia_morteros-adhesivos-y-materiales-de-rejuntado-nueva-version.pdf)

## **ANEXOS**

Mejoramiento del recubrimiento en construcciones de bahareque, por clasificación granulométrica.

Caso de estudio, Comunidad indígena Amoyá, vereda La Virginia, Chaparral Tolima