

ADOBE DE SUELO DERIVADO DE CENIZAS VOLCANICAS: UNA ALTERNATIVA CONSTRUCTIVA



MAURICIO ESGUERRA RUBIO

**UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PEREIRA
2013**

**ADOBE DE SUELO DERIVADO DE CENIZAS VOLCÁNICAS: UNA
ALTERNATIVA CONSTRUCTIVA**

MAURICIO ESGUERRA RUBIO

Trabajo de tesis para optar al título de ingeniero civil

Directora

Gloria Milena Molina Vinasco Ingeneniera Civil, M.Sc.

**UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PEREIRA
2013**

AGRADECIMIENTOS

*El hombre tierra fue, vasija, párpado
Del barro trémulo, forma de la arcilla,
Fiel cántaro Caribe, piedra chibcha,
Copa imperial, o sílice araucana
Pablo Neruda*

Esta investigación es el resultado del apoyo tanto emocional, académico y profesional de varias personas a las cuales quiero agradecer.

En primer lugar está mi familia, a mis padres a quienes agradezco su incondicional apoyo emocional y económico gracias al cual ha sido posible esta formación como persona, estudiante y profesional.

A mi Directora de tesis la ingeniera Gloria Molina, por su apoyo profesional, su motivación para que hiciera esta investigación y todos sus objetivos fuesen cumplidos a cabalidad.

Y a mis compañeros y profesores quienes durante estos cinco años de estudio continuo hicieron de mí un mejor ser humano, cada uno de ellos me deja algo tanto en el ámbito académico como en el humano.

Finalmente quiero agradecer a la Institución por brindarme los medios para lograr de la mejor manera esta meta.

A todos muchas gracias

Mauricio Esguerra Rubio

CONTENIDO

RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. ANTECEDENTES.....	12
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	21
4. OBJETIVOS.....	23
4.1. Objetivo general.....	23
4.2. Objetivos específicos	23
5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	24
6. LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	25
7. MARCOS DE REFERENCIA.....	26
7.1. MARCO TEÓRICO	26
7.1.1. Cenizas volcánicas:.....	26
7.1.2. El adobe.	29
7.1.3. Aditivos.	31
7.1.4. Proceso de elaboración del adobe	33
7.2. MARCO CONCEPTUAL	35
7.2.1 Estabilización de suelos	35
7.2.2. Absorción de agua (NTC 4017)	36
7.2.3. Resistencia mecánica a la Compresión (NTC 4017).	36
7.3. MARCO METODOLÓGICO	37
7.3.2. Tipo de investigación.....	37
7.4. MARCO LEGAL Y NORMATIVO	38
7.4.2. Normas a utilizar	38

8. METODOLOGÍA.....	39
8.2. Etapa 1: Exploración de campo y ensayos de laboratorio.	40
8.2.2. Exploración de campo.....	40
8.3. Etapa 2: Clasificación del suelo y establecimiento de cantidades para cada una de las mezclas y construcción de los setenta y dos abobes iniciales.	41
8.3.2. Clasificación y ensayos al suelo	41
8.3.3. Establecimiento de proporciones de los materiales	43
8.4. Etapa 3: Proceso de elaboración del adobe.....	43
8.4.2. Obtención de la materia prima.....	43
8.4.3. Elaboración de los adobes	44
8.4.4. Dedución de nuevas proporciones para mezclas escogidas añadiendo cal,elaboracion de adobes finales	47
9. RESULTADOS	49
9.2. Características físicas y mecánicas del suelo	49
9.2.2. Límites de Atterberg	49
9.2.3. Gravedad específica	50
9.2.4. Ensayo de compresión no confinada y Proctor modificado	50
9.2.5. Granulometría por medio de hidrómetro	52
10. ANÁLISIS DE LA ELABORACIÓN DE ADOBES	55
10.1 Resistencia a la compresión y absorción de los adobes analizados	55
10.2 Análisis de costos de fabricación.....	64
11. CONCLUSIONES	66
12. RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXOS.....	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 7.1. Suelos

Tabla 8.1 Muestras para ensayos de laboratorio.

Tabla 8.2 Cantidad en porcentaje mezcla de adobes iniciales.

Tabla 8.3 Cantidad mezcla de adobes iniciales.

Tabla 8.4. Numero de muestras para ensayo de compresión.

Tabla 8.5. Numero de muestras para el ensayo de absorción de humedad

Tabla 8.6. Cantidad en porcentaje mezcla de adobe con cal.

Tabla 8.7. Cantidad mezcla de adobe con cal.

Tabla 8.8 Numero de muestras para el ensayo de absorción de humedad y de compresión.

Tabla 9.1. Clasificación del suelo

Tabla 9.2. Resultado del ensayo de gravedad específica

Tabla 9.3. Cuadro resumen de cohesión y densidad relativa

Tabla 9.4. Tabla con ensayo para clasificación granulométrica por hidrómetro y tamiz 200.

Tabla 10.1. Propiedades de compresión de unidades de mampostería no estructural

Tabla 10.2 Pesos adobes iniciales al 50% de sección

Tabla 10.3 Propiedades de absorción de agua en mampostería no estructural.

Tabla 10.4 Pesos adobes con aditivo de cal al 50% de sección.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Pueblito La Acuarela ejemplo de su construcción.

Figura 1.2 Casa del administrador del mercado.

Figura 1.3. Elaboración de adobes en la comunidad de forma artesanal

Figura 7.1. Forma del adobe.

Figura 8.1. Localización de la zona de extracción de las muestras

Ecuación 7.1. Porcentaje de absorción de agua

Ecuación 7.2. Resistencia mecánica a la compresión

Ecuación 8.1. Contenido de humedad

Grafico 9.1. Ensayo Proctor muestra 1.

Grafico 9.2. Ensayo Proctor muestra 2

Grafico 9.3. Ensayo Hidrómetro.

Grafica 10.1. Ensayo de compresión de los adobes.

Grafica 10.2 Ensayo de absorción de agua de los adobes

Grafica 10.3 Comparación ensayo a la compresión de adobes iniciales y finales.

Grafica 10.4 Comparación ensayo de absorción de adobes iniciales y finales.

Grafica 10.5 Comparación costos por unidad de tratamiento de adobes VS ladrillos.

RESUMEN

La finalidad de este trabajo, es encontrar un material constructivo (adobe) no estructural hecho a base de suelo predominante en la región, derivado de cenizas volcánicas mezclado con diferentes materiales usados desde la antigüedad en la construcción de vivienda como son boñiga, paja, arena fina, y cal buscando la mezcla más adecuada y mejorando la calidad del producto terminado.

Este trabajo de investigación se puede dividir en tres etapas, la primera inicia con la extracción de muestras inalteradas de suelo derivado de cenizas volcánicas, para hacer ensayos de laboratorio para su caracterización física y mecánica, seguido por la elaboración de seis mezclas con diferentes proporciones de aditivos en mención, que fueron fijados de acuerdo a las metodologías de las referencias encontradas a lo largo de la investigación, elaborando doce adobes por cada mezcla, y utilizando una máquina de compresión manual. Se obtuvo entonces, una muestra total de sesenta adobes, después del proceso de secado a temperatura ambiente, con una duración aproximada de treinta días, se realizaron pruebas de compresión y porosidad, para determinar cuál de ellas presenta mejores resultados.

Con la mezcla o tratamientos seleccionados se fabricaron quince adobes, en donde se observó la necesidad de agregar cal a los tratamientos, así mismo se concluyó que el método de fabricación de los adobes no tiene suficiente compresión para evitar las altas absorciones obtenidas.

INTRODUCCIÓN

El interés de esta investigación se centra en el uso de la tierra que se encuentra in situ y evitar el desperdicio o retiro del suelo para optimizarla como material de construcción. De acuerdo con Pons, 2001 "...la tierra ha sido material de construcción usado en todos los lugares y en todos los tiempos; los hombres se familiarizaron con sus características y aprendieron a mejorarlas agregándole algunas fibras vegetales o intercalando algunas ramas como refuerzos para consolidar su resistencia. Una variedad del uso de la tierra en combinación con otros materiales, principalmente de origen vegetal, son las construcciones de bahareque. Luego, ya tratados por el fuego, aparecen los ladrillos, material inmejorable para uso en mucha clase de obras..."¹

La construcción con adobes ha constituido el principal sistema constructivo de viviendas populares, desafiando los rigores del tiempo y movimientos sísmicos sin sufrir daños significativos.

Pero a través del tiempo la construcción con adobes se ha eliminado en el mercado, por las fallas que produjo por las fuerzas sísmicas en la región, en las viviendas que a su vez afectó las vidas de las personas, porque eran casas construidas por el albañil del sector y no eran construidas con técnicas ingenieriles o sismo resistentes

Por estas razones, es necesaria la divulgación de los avances que se han alcanzado en el mejoramiento de la técnica tradicional durante los últimos años; con lo anterior se pretende realizar una propuesta que consiste en una investigación experimental de la elaboración de adobes con suelo como una alternativa de construcción utilizando todos aquellos conceptos ingenieriles que permiten el desarrollo de un material constructivo.

Tomando en cuenta la característica del suelo que predomina en su mayoría el territorio de Pereira, con una investigación geotécnica y agregando aglomerantes naturales como paja, cal y boñiga de vaca, se elaboraran adobes que sean aptos

¹ Pons, G. 2001. La tierra como material de construcción. San Salvador.

para la construcción basándose en resultados estimados por la norma técnica colombiana 4205.

Este documento está conformado por diez capítulos, los primeros seis de ellos están compuestos por los objetivos, justificación y toda la revisión bibliográfica realizada a lo largo del mismo, el último dividido en marco teórico, conceptual, metodológico, legal y normativo; El capítulo siete contiene la metodología utilizada para la realización de la tesis compuesto por las diferentes etapas que se vivieron a lo largo del proceso de elaboración de los adobes; El octavo capítulo muestra los resultados de las diferentes pruebas de laboratorio realizadas; Durante el 9 capítulo se encontrara el análisis realizado a partir de los capítulos 7 y 8 acerca del proceso y experimentación con los adobes; Los capítulos 10 y 11 son las conclusiones y recomendaciones a las cuales se llegó al terminar el proceso realizado.

1. ANTECEDENTES

Para la realización de cualquier trabajo de investigación es necesario hacer inicialmente una revisión bibliográfica del tema a estudiar, para así lograr

determinar que se ha dicho del tema en forma global y local, por estas razones se presenta a continuación un resumen de los principales artículos estudiados para la elaboración del presente documento y aplicados para el desarrollo de la investigación.

HÁBITATS SOSTENIBLEES ORGANIZADO POR BIOCASA- CAMACOL en Cali, Colombia. - Noviembre de 2008.²

De acuerdo con las presentaciones de Vélez 2008, el antecedente con mayor reconocimiento a nivel nacional y mundial, es la aldea Mesa de los Santos, en el departamento de Santander, Pueblito Acuarela, es el nombre del Proyecto para construir una aldea ecológica empleando adobes elaborados con suelo de la zona, con el objetivo de que sus habitantes puedan conocerse y desarrollar métodos de solidaridad y participación comunitaria orientados a mejorar considerablemente su nivel de vida.

“**Pueblito acuarela**” pretende mitigar el impacto ambiental que ha producido el desarrollo acelerado de la región, contribuir a su ordenamiento territorial y a darle identidad. Como se muestra en la figura 1.1 y 1.2 el pueblo y la casa del administrador construida en 60 metros cuadrados a razón de \$200.000 por metro cuadrado para un total neto de \$12.000.000. En la figura 1.3 se muestra la elaboración de la masa utilizada para construir los adobes.

² Velez, J.G. Arquitectura en Barro, 2008.

Figura 1.1 Pueblito de la Acuarela ejemplo de su construcción. Tomada de: hábitats sostenibles organizados por biocasa- camacol

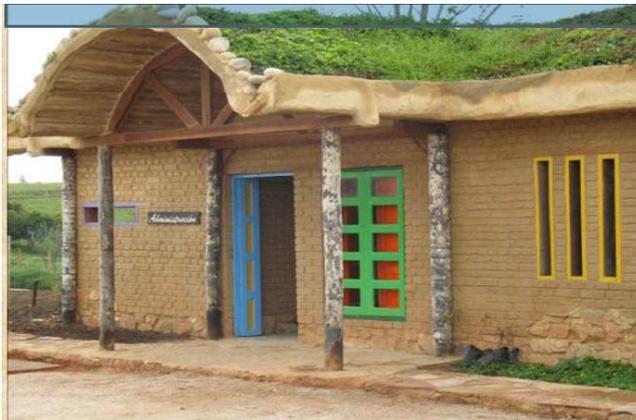
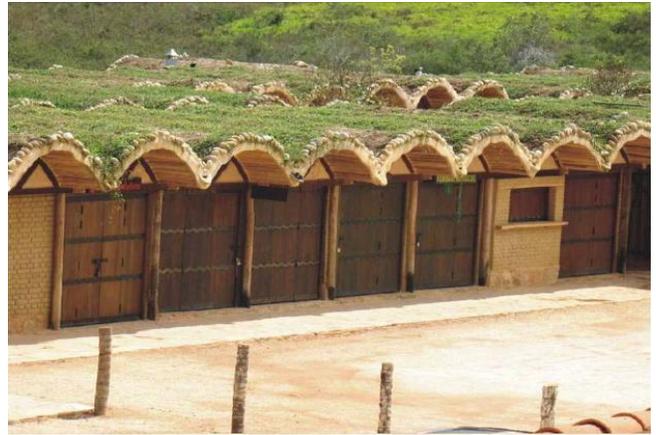


Figura 1.2 Casa del administrador del mercado. Tomada de: hábitats sostenibles organizados por biocasa- Camacol



Figura 1.3 Elaboración de adobes con la comunidad de forma artesanal.

Tomada de: hábitats sostenibles organizados por biocasa- Camacol

La masa misma de la tierra cruda que hace más pesadas las paredes y los techos configura el principal filtro contra las radiaciones, procedentes de los satélites, de las antenas parabólicas, del exceso de rayos UV solares o del ruido. Internamente son un atenuante importante de efectos que producen los celulares, la televisión,

las redes eléctricas, hidráulicas, sanitarias, el gas y muchos otros equipos que alteran el sistema nervioso y eléctrico de los seres humanos.

La Mesa de Los Santos es altamente sísmica. Se tiene seguridad que las construcciones en tierra bien estructuradas, por ejemplo, aquellas en las que se hace que todos los muros actúen como contrafuertes entre sí, rebajando el peso con la altura o separando los techos de los muros, se pueden estabilizar sin vigas ni columnas de concreto. De hecho las construcciones más antiguas que aún se conservan son de adobes o tapia pisada como la Pirámide de Caral y las Huacas del Sol y la Luna del antiguo Perú. La tierra empezó a ser desplazada como material con la aparición del cemento y las varillas de hierro en la segunda década del Siglo XX y fue injustamente estigmatizada con la evaluación de los últimos terremotos, como el sismo que destruyó casi todas las casas pero principalmente las de tapia y bahareque en el Eje Cafetero. Y se dice injustamente estigmatizadas, porque los analistas no tuvieron en cuenta que esas casas fueron diseñadas y construidas en promedio hace 80 años por el Albañil del barrio sin el conocimiento que hoy pueden aportar los campos de Arquitectura e Ingeniería que no existían como profesiones en ese momento determinado.

EL CISCO DE CAFÉ, UNA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA EN LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS. Universidad Nacional De Colombia - 1996.

En la investigación de Carvajal 1996, se utiliza el cisco de café como un material aglomerante en la producción de ladrillos, ya que es un material producido en grandes cantidades por ser un sector caficultor, el cisco por ser un producto residual del proceso de elaboración del café, es utilizado en las ladrilleras u otros sectores para la combustión de calderas, con un análisis detallado se podría estudiar el comportamiento de cisco como un elemento a agregar para la producción de ladrillos en combinación de la arena y el arenon (material grueso).

En la investigación se analiza que el comportamiento mecánico del bloque con cisco se debe a la granulometría originada por el proceso de molienda o sin moler del cisco, se realizan muestras para determinar cual da mejor resultado, sin moler o molido, y por conclusión de obtuvo que “El proceso de molienda tiene como base el saber que: “a menor tamaño del cisco, hay mejor compactación y por lo tanto, mayor resistencia de la mezcla, puesto que los espacios intersticiales son menores”.

El agua como es un medio de importancia para el amasado y la acción del cemento, pero indica se debe mezclar con agua potable, libre de sales, de ácidos, de aceites y desechos.

La relación agua-cemento, representa el grado de dilución del cemento en el agua. De esta depende el valor cementante del aglomerante. Esta relación es la que más afecta la resistencia a la compresión.- A más baja relación, mayor resistencia-.

Si tiene demasiada agua la mezcla se disgrega; al evaporarse el agua, queda con muchos poros o vacíos que le hacen perder cualidades de resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

El tiempo de mezclado completo y continuo para el desarrollo de la resistencia y para la obtención de la uniformidad en la mezcla. Un tiempo de mezclado prolongado después de haber obtenido la homogeneidad, puede ser riesgoso, puesto que puede reducir la manipulación por pérdida de agua y evaporación, puede desintegrar parcialmente el agregado, por el proceso de continua abrasión que se ha sometido, trayendo como consecuencia un exceso de finos en la mezcla.

ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DEL ADOBE ELABORADO CON SUELOS PROCEDENTES DE CRESCENCIO VALDÉS, VILLA CLARA, CUBA - Septiembre 2008.³

En el artículo de Saroza et al 2008, se estudia la resistencia a compresión simple que presenta el adobe elaborado con diferentes suelos procedentes del pueblo de Crescencio Valdés, situado en el municipio de Camajuaní, Villa Clara, Cuba. Se valora la idoneidad de la utilización de cada suelo estudiado bajo la premisa de alcanzar con el adobe elaborado una resistencia a compresión simple de 1 MPa (10 kg/cm²), ya que dicho adobe será utilizado posteriormente para edificación en dicho pueblo.

La relación arcilla-arena del suelo es de gran importancia para el adobe debido a que, si no hay suficiente arcilla en la mezcla no se conseguirá la cohesión necesaria de todas las partículas para soportar las acciones a las que estará sometido, y se desmorona. Por el contrario, si no hay suficiente arena, el ladrillo se fisura por retracción de la arcilla durante el proceso de secado. Si el contenido de arena que presenta el suelo se encuentra por debajo de los parámetros requeridos para su uso como material de construcción se puede recurrir a la adición de arena para mejorar sus propiedades.

La fibra orgánica también presenta gran importancia debido a que limita las variaciones de volumen que se producen en el adobe durante el proceso de retracción que ocurre en la etapa de secado. Es decir, evita que el ladrillo se fisure en exceso durante esta etapa. No obstante, la mayoría de las fibras orgánicas tienen las desventajas de tener que ser picadas en trozos pequeños para poder ser mezcladas en la masa de adobe, y la de disminuir la manejabilidad del mismo.

³ Saroza B., Rodríguez M.A., Menéndez J.M., Barroso I.J. 2008. Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelo procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba.

ADOBES COMPRIMIDOS SUELO-CEMENTO UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA U Andina Ncv–Puno; (sin año determinado)

Según Choques y Huaman, el propósito de mejorar las condiciones de vida en la población altiplánica y en especial de los departamentos de Puno (Sur del Perú), el mejoramiento en la utilización de técnicas de adobes comprimidos de suelo-cemento.

Estos bloques son más fáciles de hacer que los bloques de cemento; son de elaboración artesanal y no contaminante en su secado ya que su curación es completamente natural.

La metodología aplicada está basada en la tradicional que aplica compactación en el adobe, pero el factor más relevante es la aplicación de cemento, el proceso de elaboración se realizó por medio de una prensa fabricada en acero, tiene una caja molde en la cual un pistón operado a mano, comprime una mezcla de tierra y cemento con una leve humedad. Esta máquina puede producir un promedio de 300 a 500 adobes por día, operada por 2 trabajadores. La mezcla usada para la fabricación de los adobes contiene entre 25% de arcilla, 70% de arena y un 5% de cemento.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La construcción masiva de viviendas es el medio como se reactiva la economía y el empleo de la ciudad, y a la vez controla el déficit de viviendas para estratos 1 y 2 donde la mayoría de la población tiene dificultad en obtener, por sus altos precios.

La vivienda es el bien más costoso que tiene la gente de bajo recursos que aspira a adquirir a lo largo de su vida, por eso la intervención del gobierno nacional o municipal para ayudar a la población obtener vivienda con subsidio que sea fácil de pagar en un largo plazo.

“...la baja accesibilidad de la vivienda a nivel mundial ha llevado a formular estrategias para mejorar las políticas de vivienda y en especial políticas para el subsidio de vivienda, tales como: regularización de la tenencia de la tierra, privatización de las viviendas estatales, impuestos sobre la propiedad, autorización de los préstamos del sector privado a tasas positivas y de mercado, ampliación de las leyes de ejecución de hipotecas, introducción de instrumentos de préstamo mejorados, creación de subsidios transparentes, concentración en los pobres, subvención de las personas y no de las casas, examen de los subsidios, construcción de vivienda destinada a los más necesitados...” “García, 2001

Resaltando, el principal problema de la vivienda de interés social se acentúa cada día más, porque se ofrece a un precio que no está al alcance de quienes más la necesitan. Es importante determinar los componentes con mayor potencial para la disminución del costo e identificar inconvenientes constructivos para así plantear posibles soluciones

Con lo mencionado anteriormente se pretende dar una posible alternativa a la problemática de viviendas de interés social, retomando la elaboración de adobe que consiste en utilizar la tierra del sitio como materia prima y mezclarla con un

aditivo que permita una alta resistencia a un bajo costo para aplicar como un material constructivo en comparación con un ladrillo macizo; entonces esto permite una respuesta a las poblaciones más marginadas de la comunidad y reduce el retiro de suelo de sitio de la construcción hacia los depósitos, posibilitando en gran medida su accesibilidad a la vivienda.

3. JUSTIFICACIÓN

Los adobes como material de construcción se convierten en una respuesta a las necesidades existentes en la construcción de vivienda de interés social y económico. Pone en práctica los conocimientos tecnológicos y sistematizados de los procesos de elaboración del ladrillo, contribuyendo con esto al mejoramiento de la calidad del material y satisfacer plenamente las necesidades de las personas en cuanto a tiempo, costo y producto.

Por circunstancias de orden público, pobreza, y desplazamiento se hace necesaria la construcción de vivienda asequible a las poblaciones más vulnerables dando respuesta inmediata a todas aquellas necesidades que se presentan en el diario vivir.

En todo este concepto se ha identificado que los adobes pueden ser realizados mediante nuevas técnicas contribuyendo así con la conservación del medio ambiente y con el mejoramiento de la calidad de vida del ser humano.

Un factor primordial del componente bio-climático que hace saludables las viviendas es la correcta orientación solar. Hay que reconocer que los ladrillos cocidos son más resistentes al agua, pero el adobe se puede proteger fácilmente del agua en la base de los muros con sobre-cimientos de piedra y en lo alto con los techos. De manera que ese argumento no es pretexto para descalificar la tierra y entronizar el ladrillo.

Los ladrillos cocidos son más livianos pero no son térmicos ni protegen de las radiaciones solares. En las viviendas o edificios construidos con tierra cuando afuera hace calor, adentro es fresco y cuando afuera hace frío adentro es cálido y en climas extremos, digamos, en temperaturas bajo cero, la diferencia a favor del residente es considerable. La sola eliminación del costo del aire acondicionado, los ventiladores y la calefacción, según sea el caso, serían suficientes para justificar el uso de la tierra en tapia pisada, en adobes o bahareque.

Desde un modo social, la vivienda popular elaborada con adobes, tiene las siguientes ventajas frente a las construidas con ladrillos, como especifica Pons Gabriel 2001.

- Se usan materiales naturales que se tienen en el lugar.
- Es construida con métodos sencillos fáciles de entender.
- La familia, niños mujeres, ancianos pueden cooperar en su construcción. No utiliza tecnicismos ni herramientas ni complejidades mecánicas.
- El mantenimiento y reparación puede hacerse usando los mismos materiales.
- Ofrece comodidad a sus habitantes de manera durable.
- Son seguras, brindando protección a sus moradores, de animales, clima, y diferentes ataques.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Fabricar un adobe artesanal (no estructural) mediante el uso de suelo de cenizas volcánicas, como un material constructivo, alternativo para el uso en vivienda de interés prioritaria.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar una composición óptima para el adobe, suelo/arena/aditivo, para lograr la resistencia, según las normas NTC para ladrillos no estructural.
- Analizar que aglomerante es más efectivo para la elaboración del adobe, (paja, boñiga, paja-boñiga).
- Determinar los costos de los adobes, comparándolos con el costo del ladrillo tradicional.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

A través de la elaboración de un adobe con suelo derivado de cenizas volcánicas, es posible brindar una alternativa constructiva con resistencia adecuada para la construcción de viviendas y aumentar la fabricación de los mismos para satisfacer la demanda de material para generar construcción de viviendas de interés prioritaria.

6. LIMITACIONES DEL PROYECTO

La mayor limitación del proyecto, es el proceso de compactado del adobe, porque se aplica de forma contraria al medio mecánico, con un método artesanal y/o manual, esto afecta una compresión homogénea en todo el proceso.

Otra limitación es el tiempo de secado que requiere tener para una adecuada composición del aditivo de boñiga y paja. Deben ser secados durante días previos al sol, para eliminación de humedades y tener en cuenta variables del tiempo, cuando hay tiempo cálido y soleado o tiempo lluvioso y frío.

7. MARCOS DE REFERENCIA

A continuación se presentan los marcos de referencia como base para el desarrollo de la investigación, los cuales son: marco teórico, marco conceptual, marco metodológico, marco legal y normativo.

7.1. MARCO TEÓRICO

En esta sección se hace la presentación del fundamento teórico que ayuda al desarrollo y elaboración del proyecto investigativo, los temas involucran las características de las cenizas volcánicas, y los aditivos a utilizar.

7.1.1. Cenizas volcánicas:

Suelo derivados de cenizas volcánicas que predominan en la región del eje cafetero y se identifican por su color amarillento, conformados por limos entre 65% a 70% de alta plasticidad y una cantidad de arcilla entre 17% a 25%, con variables que mejoran su propiedad física en relación con el contenido de humedad.

De acuerdo con Lizcano et al, 2006. en su artículo Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia, los depósitos de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia ocupan cerca del 11,6% del territorio y se localizan en regiones de importante crecimiento demográfico y económico. Estos suelos se extienden desde el Eje Cafetero (departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda y Quindío) en el centro del país, hasta los departamentos de Tolima, Cauca y Nariño hacia el sur oeste del mismo.

La mineralogía de los suelos de cenizas volcánicas son de gran influencia sobre sus características y su comportamiento mecánico. Los minerales presentes en la fracción de arcilla (i.e. alófana, imogolita y haloisita) derivados de la meteorización de las cenizas volcánicas, en particular del vidrio volcánico, poseen propiedades

(e.g. tamaño, forma, carga eléctrica, energía superficial, etc.) que los hacen distinguibles de los minerales comúnmente encontrados en suelos sedimentarios.

La influencia en la distancia de deposición, se observa en los suelos arenosos [de Pereira, ciudad cercana a los volcanes y en los suelos arcillosos de Armenia, ciudad más lejana de los volcanes activos. Adicionalmente, los depósitos más abundantes y de mayor espesor se presentan en regiones de clima frío y muy frío, mientras que espesores menores son formados en ambientes cálidos y húmedos en donde la meteorización es más intensa.

El perfil estratigráfico generalizado de estos suelos en Colombia consiste de una capa superficial formada a partir de la meteorización de las cenizas volcánicas, cuyo espesor puede alcanzar hasta 20 m. Subyaciendo esta capa se encuentra una capa de saprolito (espesor ~ 20 m) formada por la meteorización de materiales piro clásticos y flujos volcánicos. A mayor profundidad, se encuentra un depósito de 100 m de espesor, formado de los materiales emanados durante las erupciones volcánicas al final del terciario.

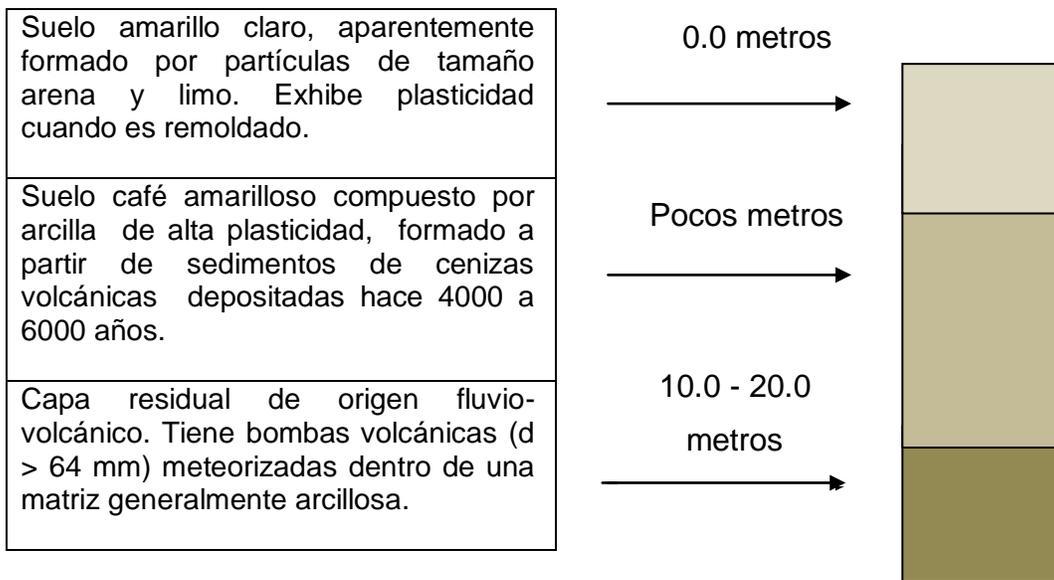


Tabla 7.1. Perfil estratigráfico típico de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia.. Lizcano et al, 2006

Los suelos derivados de cenizas volcánicas pueden reconocerse a través de ciertas propiedades que incluyen: alta pendiente de taludes naturales, apariencia limosa y alta plasticidad al remoldeo, perfiles estratigráficos en los que predominan materiales limo-arenosos en superficie y finos en profundidad.

En las propiedades mecánicas de los suelo (Lizcano et al, 2006), se observan taludes estables con alturas mayores a 10 m y pendientes superiores a 60°. Los ángulos de fricción de estos suelos pueden variar entre $\phi = 26^\circ$ y $\phi = 43^\circ$, una gravedad específica que oscila entre 2.65 y 2.75; la humedad natural de los suelos de Pereira comprende valores entre el 50 y 100% hasta 5m de profundidad, entre 5m y 15m aumenta en un 175%. El peso unitario en superficie está entre 1.4t/m³, a medida que aumenta la profundidad hay un incremento hasta llegar a valores promedio del 1.7t/m³ a 25m de profundidad.

Las cenizas volcánicas (Hermelin et al, 2001) desempeñan dentro de la dinámica del paisaje varias funciones que también afectan indirectamente las actividades humanas: son el material parental de muchos suelos, cumplen un papel importante en los mecanismos del ciclo hidrológico, sirven de amortiguador en crisis climáticas, y facilitan el desarrollo de ecosistemas estables y con biodiversidad relativamente alta.

Las cenizas volcánicas están básicamente compuestas por materiales arcillosos y limosos, que presentan un amplio rango de índice de plasticidad, y su clasificación principal corresponde a MH. Los suelos derivados de ceniza volcánica de la zona cafetera presentan diferentes grados de evolución, lo cual se evidencia por el contenido de arcilla. En general variabilidad en algunas propiedades como la retención de fosfato y de humedad. Las propiedades mecánicas de las cenizas son de mucho interés para la ingeniería.

7.1.2. El adobe.

El adobe, bloques contruidos con suelo in situ, conformados por material dosificado con arcilla y arena, además, se le integra algún aditivo ya sea natural que mejore su comportamiento mecánico y de absorción de agua, a diferencia de un ladrillo macizo el proceso de elaboración es similar pero presenta variables que este mejora las propiedades mecánicas por la cocción en hornos y el suelo sea más clasificado para su elaboración, en cambio el adobe es producido por el suelo que se presenta en la zona donde se va a construir o a intervenir y su secado es a la intemperie (al aire libre). La construcción del adobe tiene que ser más apta para la construcción de viviendas y tiende a ser un material constructivo no estructural, esto corresponde a un material que funciona para construir muros divisorios entre las viviendas, pero es considerable porque puede disminuir costos en cada edificación.

En el texto *Arquitectura en Barro*, Vélez 2008, dice que el adobe es un ladrillo hecho con barro que tiene, tradicionalmente, unos 25 x 35 x 10 cms, con un peso promedio de unos 5 kilos como muestra la figura 7.1. La mezcla ideal contiene un 20% de arcilla y un 80% de arena y varía de acuerdo al criterio constructivo. Estos materiales, mezclados con agua, adquieren una forma fluida que permite volcarla en formas de madera dotadas de las dimensiones citadas anteriormente. Cuando parte del agua se evapora, el ladrillo de adobe es entonces capaz de sostenerse por sí mismo. Entonces se remueve la forma, completándose su secado al sol en áreas libres disponibles para tal fin conocido como "patios de secado". Después de varios días, para acelerar el secado, los ladrillos son movidos, apoyándose en una de sus caras laterales. Al cabo de unos pocos días están listos para ser apilados. La cura completa toma unos 30 días. Para ese momento el ladrillo es tan fuerte como el cemento.

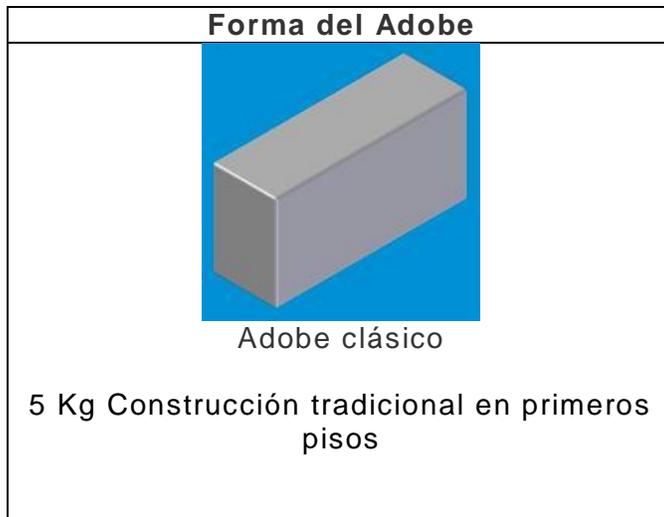


Figura 7.1. Forma del adobe.
Vélez, 2008..

El comportamiento del adobe está ligado a las condiciones y constitución del suelo del cual proviene.

Los muros y paredes hechos de adobes de barro son gruesos y su densidad es semejante a la del hormigón. Tienen una alta resistencia a los impactos y son totalmente ecológicos y reciclables. Sus daños estructurales son fáciles de reparar y tanto el barro como la arcilla son protectores naturales contra los hongos y bacterias, además como intercambian humedad con el exterior mantienen saludables niveles de humedad en el interior de las viviendas.

Tradicionalmente, el adobe, al no requerir de uso de combustible para su elaboración representa un ahorro sustancial estimado en un 40 % con relación al costo del ladrillo de arcilla que exige la utilización de hornos para su cocción.

Como desventaja económica desde el punto de vista de su construcción comercial se encuentra el uso intensivo de obreros y de labor manual; y la desventaja mecánica del adobe no cocido es su falta de estabilidad como materia, dado que su endurecimiento no reviste carácter permanente como sí ocurre en el ladrillo cocido, y ello puede conducir a cambios de acortamiento y ensanchamiento en sus proporciones al variar la proporción de su contenido de agua. También su

resistencia varía con la cantidad de agua que aloja: a mayor cantidad de agua contenida menor capacidad de carga.

Debido a su facilidad, economía e independencia constructiva el adobe se convirtió, en todo el mundo, en el material "de los pobres", cuyas familias participaban en la fabricación de la mezcla usando los pies, y volcando la misma dentro de formas de madera para fabricar los ladrillos.

El adobe no se adhiere permanentemente a metal, madera o piedra en razón de su mayor variabilidad de comportamiento en dilatación-contracción. Sin embargo, en muchas obras se los encuentra juntos pero operando separadamente.

Cuando el adobe se utiliza como muro de carga sus secciones aumentan considerablemente y las construcciones rara vez exceden los dos pisos de altura.

El adobe si es un buen aislante térmico. Tiene la capacidad y absorber calor durante lapsos considerables de tiempo. En los países de cambio brusco de temperaturas entre el día y la noche, establece un promedio de temperaturas extremas que resulta beneficioso para el habitante que aloja.

7.1.3. Aditivos.

Materiales que complementan o mejoran las propiedades físicas de los adobes con mezcla suelo más aditivo, mejoran las propiedades más importantes de los bloques como la resistencia a la compresión y la absorción de agua.

7.1.3.1. Cal Hidratada (CaMg (OH)₂).

- La cal hidratada es el agente estabilizador que se ha usado más profusamente a través de la historia, pero sólo recientemente se han hecho estudios científicos

relacionados a su empleo como estabilizador de suelos y se han cuantificado sus resultados.

La cal es el producto de la calcinación de rocas calizas, constituido principalmente por óxido de Calcio (CaO) y otros componentes. La adición de cal en los materiales arcillosos para terracerías, revestimientos, subbases y bases, por sus diferentes reacciones, en mayor o menor grado, produce aumento en el límite líquido y disminución en el índice plástico; aumenta la estabilidad volumétrica de los materiales cohesivos; aumenta la resistencia a la compresión simple y el CBR.

Polvo seco, obtenido al tratar cal viva con la suficiente agua para satisfacer su afinidad química, provocando su hidratación. Consiste esencialmente en hidróxido de Calcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] o una mezcla de hidróxido de calcio, óxido de magnesio (MgO) e hidróxido de magnesio [$\text{Mg}(\text{OH})_2$]. Su principal ventaja es que ofrece menor peligro durante su transporte, manejo y utilización. Por razones ecológicas, en general no es aceptable utilizar cal viva. Se emplea preferentemente como cal apagada y en lechada, excepto cuando se requiere disminuir el contenido de agua en los suelos.⁴

7.1.3.2. Arena media:

Es un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. Una partícula individual dentro de este rango es llamada *grano de arena*. Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca.

⁴ “El uso de la cal en la estabilización de suelos derivados de cenizas volcánicas (andosoles). Un caso particular” Zuluaga D. Tesis de Posgrado. 2005

7.1.3.3. Paja:

Es el tallo seco de ciertas gramíneas, especialmente los cereales llamados comúnmente de "caña" (trigo, avena, centeno, cebada, arroz, etcétera), una vez cortado y desechado, y haber separado el grano o semilla mediante la trilla. También aplica al corte del pasto de rastrojo o pasto estrella, y secado en el sol durante un tiempo determinado.

7.1.3.4. Boñiga:

Son los desechos sólidos dejados por el ganado o equinos, secados al aire pero alejados de contacto con el agua en un periodo de aproximadamente quince días.

7.1.4. Proceso de elaboración del adobe

El proceso no ha variado en la historia del hombre. El primer paso es la extracción del suelo, retirando el material orgánico y todo tipo de impurezas. La clasificación de los suelos para ser un material apto por contener arcilla y que sea un suelo plástico, se determina con ensayos de laboratorio de geotecnia.

Acto seguido se hace una mezcla de tierra, agua, arena y aditivo a probar. La masa resultante se vacía sobre un sector plano cubierta de arena donde previamente han sido instalados unos moldes de madera húmeda que se denominan "formaletas" o se compacta con una maquina específica para la elaboración de adobes o adoquines.

Una vez apisonado la masa en los moldes, se deja secar durante 30 días hasta que tome forma y se consolide. Sin estar suficientemente secos los adobes se reposa por las paredes laterales, se define: el canto, y para que tenga un secado por los dos lados más grandes que se define la tabla.

Los moldes suelen tener unas dimensiones de 29 x 14 x 8 cm. los más grandes, y 20 x 14 x 8 cm. los más pequeños, según el molde y mejor comportamiento en las propiedades mecánicas en la construcción de la vivienda.

La elaboración de los adobes (Minke et al, 1994) se realiza ya sea llenando los moldes con un barro de consistencia pastosa o lanzando un barro menos pastoso en el molde. En la técnica del lanzado se mezcla barro arenoso con agua, usualmente se añade paja cortada y se lanza la mezcla con fuerza al molde, mientras más fuerte se lance el barro en el molde mejor será la compactación y la resistencia.

7.2. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se hará la presentación del fundamento conceptual que ayudó al desarrollo del proyecto investigativo, los conceptos a desarrollar fueron absorción de agua (NTC 4017) y resistencia mecánica a la compresión (NTC 4017)

7.2.1 Estabilización de suelos

-Estabilización de un suelo es el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un material firme y estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

La manipulación o tratamiento de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuye su plasticidad y se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo, hay varios métodos, uno de ellos:

Mezclas de Suelos: este tipo de estabilización es de amplio uso pero por si sola no logra producir los efectos deseados, necesitándose siempre la compactación como complemento.

Ejemplo, las arcillas, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

Se puede presentar una estabilización por medio químicos como la cal hidratada, cemento portland, emulsión asfáltica, etc., y mecánicas como en las mejoras de terreno de apoyo y mejoran la compactación como base y sub-base granular.⁵

⁵ “El uso de la cal en la estabilización de suelos derivados de cenizas volcánicas (andosoles). Un caso particular” Zuluaga D. Tesis de Posgrado. 2005

7.2.2. Absorción de agua (NTC 4017)

Es la capacidad de absorción de agua que puede tener un bloque de arcilla cocida o de adobe, para no presentar pérdida de propiedades físicas del bloque.

Se sumergen los especímenes secos y fríos, sin inmersión parcial preliminar, en agua limpia entre 15,5°C y 30° C durante 24 h. Se retira el espécimen, se seca el exceso de agua con un paño húmedo y se pesa para calcular cuanta cantidad de agua absorbió. De acuerdo a la norma NTC 4017 la fórmula aplicar para obtener el porcentaje de absorción:

En donde:

$$\% \text{ absorcion} = 100 \times \frac{(W_{ss} - W_s)}{W_s}$$

W_{ss} = masa sumergida en agua del espécimen saturada, g

W_s = masa seca del espécimen saturada antes de la inmersión, g

Ecuación 7.1. Tomada de: Norma NTC 4017

7.2.3. Resistencia mecánica a la Compresión (NTC 4017).

Es la funcionalidad del ladrillo, es básicamente soportar el esfuerzo de compresión en la construcción de cada ladrillo para la conformación del muro.

Para unidades de mampostería o ladrillos que sean macizos, semimacizos o adoquines, los especímenes de ensayo deben ser unidades secas que contengan la altura y el ancho completos de la unidad tal como se usa en el muro o en el enladrillado.

La prueba es ejecutada en la maquina universal de ensayos mediante la prueba de compresión. De acuerdo a la norma NTC 4017 la fórmula aplicar para obtener el porcentaje de absorción:

En donde:

$$\text{Compresion} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}}$$

Ecuación 7.2. Tomada de: Norma NTC 4017

7.3. MARCO METODOLÓGICO

7.3.2. Tipo de investigación

Durante la presente investigación se podrán medir variables estructuradas para la recolección de información y determinación de las mismas, por esto se puede decir que esta está dentro del marco de una investigación cuantitativa de tipo:

7.3.2.1. Experimental

La investigación se realiza mediante el método experimental, debido a que este permite crear condiciones controladas, determinar diferentes propiedades del fenómeno a estudiar; pretende realizar una serie de pruebas de laboratorio secuenciales, permite evaluar y mostrar las diferentes propiedades que tienen las mezclas e identificar la más adecuada de ellas, para la elaboración de un adobe no estructural.

7.4. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

7.4.2. Normas a utilizar

Esta investigación es realizada basada en las normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) para la escritura de textos y trabajos escritos y las Normas Invias para el ensayo de los suelos.

Cada una de las pruebas de laboratorio que se le realizan a las diferentes muestras de suelo, son ejecutadas bajo las siguientes normas explicadas a medida de su ejecución a lo largo del proyecto:

- **NTC 1495** “Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas”
- **NTC 4630** “Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos”
- **I.N.V.E 142-07** “Relaciones de humedad – masa unitaria seca en los suelos (Ensayo modificado de compactación)”.
- **NTC 78** “ Método para determinar por lavado el material que pasa por el tamiz 75 UM en agregados minerales”
- **NTC 1494** “Ensayo para determinar el límite de líquido”
- **I.N.V.E 124-07** “Análisis granulométrico por medio del hidrómetro”.
- **NTC 1527** “Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión incofinada de suelo cohesivos”.
- **I.N.V.E 128-07** “Determinación de la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral”.
- **NTC 4017** “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.”
- **NTC 4205** “ Unidades de mampostería de arcilla cocida ladrillos y bloques cerámicos”

8. METODOLOGÍA

La metodología se fundamenta en la investigación de Vélez J (2008). en su intento de volver a utilizar un recurso valioso que se encuentra descartado en la construcción, para obtener como materia prima la tierra o barro con la aplicación en una amplia gama de tecnología tradicional que mejore y facilite la ejecución de este insumo.

También se utilizó la metodología del estudio realizado en Cuba (localidad de Villa Clara) por Saroza B., et al,2008, quienes determinaron la posibilidad de utilizar suelo del sector para elaborar un adobe con una resistencia a compresión simple de 1 MPa (10 kg/cm²).

La metodología descrita, indica los procesos que se llevan a cabo en esta investigación tales como: ensayos de laboratorio de suelo para clasificar y analizar que suelo es más apto a utilizar, deducción de cantidades en cada una de las seis mezclas a realizar inicialmente, desarrollo y construcción de los setenta y dos adobes iniciales, ensayos de laboratorio de porosidad y compresión, comparación de resultados, deducción nuevas cantidades para la mezcla más adecuada añadiendo cal y la construcción de los doce adobes finales.

Reuniendo, esta metodología constar de tres etapas, la primera inicia con la extracción de muestras inalteradas de suelo compuesto por cenizas volcánicas para su ensayo en laboratorio y búsqueda de comportamiento mecánico y en la composición de las partículas del suelo, seguido por la deducción de las cantidades para cada una de las seis mezclas a realizar, continuando por la elaboración de los adobes iniciales, seguido por la valoración de porosidad y compresión de las muestras mencionadas anteriormente, finalizando con la deducción de las cantidades y construcción de los adobes con la mejor mezcla añadiendo cal, para obtener una mayor estabilidad en los mismos.

A continuación se explica en forma detallada cada una de las etapas antes mencionadas.

8.2. Etapa 1: Exploración de campo y ensayos de laboratorio.

8.2.2. Exploración de campo

Con la exploración de campo se extraen muestras inalteradas de suelo compuesto por cenizas volcánicas, para luego someterlas a ensayos de laboratorio y determinar su comportamiento de cada suelo extraído.

Se realizan dos (2) muestras, en momentos diferentes y después de estados del tiempo diferentes, mostrando los resultados como se especifica en la tabla 8.1:

Sondeo	profundidad (m)
S1	0.5
S2	1.0

Tabla 8.1. Muestras para ensayos de laboratorio

8.2.2.1. Localización de la zona de extracción de las muestras.

Las muestras de suelo inalterado se extraen del sector vereda Yarumito km 6 vía Armenia.

Latitud Norte 4° 46' 18.28"

Longitud Oeste 75° 41' 15.28"



Figura 8.1. Localización de la zona de extracción de las muestras. Imagen tomada de: Google Earth del año 2005.

8.3. Etapa 2: Clasificación del suelo y establecimiento de cantidades para cada una de las mezclas y construcción de los setenta y dos abobes iniciales.

8.3.2. Clasificación y ensayos al suelo

Para la clasificación y determinación del suelo a utilizar, se explora y se toma muestras para ejecutar ensayos para analizar cuál sea el más apto.

8.3.2.1. Contenido de humedad (NTC 1495)

Es la determinación de absorción de agua que presenta el suelo en su estado natural.

$$\text{humedad del suelo} = \frac{m1 - m2}{m1} \times 100$$

$m1 = \text{muestra humeda}$

$m2 = \text{muestra secada al horno}$

Ecuación 8.1 tomada de: Norma NTC 1495

8.3.2.2. Límites Atterberg (NTC 4630, NTC 1494)

Este estudio es utilizado para caracterizar el comportamiento del suelo fino, se basa en el estado de humedad a que esté sometido el suelo. El estado de un suelo puede ser determinado por un estado sólido, semisólido, plástico y finalmente líquido.

8.3.2.3. Lavado del material que pasa por el tamiz 75 UM (Tamiz #200) (NTC 78)

Es un análisis granulométrico para determinar la cantidad de partículas de finos que tiene el suelo por medio de un lavado con agua durante un tiempo determinado o el agua de lavado salga totalmente limpia

8.3.2.4. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro (I.N.V.E 124-07)

Este ensayo es para determinar el porcentaje de partículas de los suelos finos que permanecen en suspensión en la muestra.

8.3.2.5. Resistencia a la compresión incofinada de suelo cohesivo (NTC 1527)

En este ensayo se aplica un esfuerzo axial a una muestra de suelo, que ha sido retirado en un tubo Shelby en el campo, en su estado inalterado.

8.3.2.6. Gravedad específica de los suelos (I.N.V.E 128-07)

Se especifica como la relación entre la densidad de un material y la densidad del agua.

8.3.2.7. Ensayo modificado de compactación (Proctor modificado) (I.N.V.E 142-07)

Se realiza para determinar la máxima compactación de un suelo con un grado de humedad óptima.

8.3.3. Establecimiento de proporciones de los materiales para cada una de las mezclas

Se realizaron 6 tratamientos (T) iniciales diferentes todas con una humedad relativa según la mezcla. En la tabla 8.2 se especifica las cantidades porcentuales para la proporción en la elaboración de cada adobe así:

CANTIDAD MEZCLA DE CADA ADOBE						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
AGUA	103%	105%	87%	89%	104%	106%
ARENA	10%	10%	10%	10%	10%	10%
BOÑIGA			10%	7.5%	5%	10%
PAJA	5%	3%			2%	2%
SUELO	85%	87%	80%	82.5%	83%	78%

TABLA 8.2 Cantidad en porcentaje mezcla de adobes iniciales

En la tabla 8.3, se especifica la cantidad específica por cada adobe por peso de cada material.

CANTIDAD MEZCLA POR ADOBE						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
AGUA	4,68 lt.	4.77 lt.	3.96 lt.	4.05 lt.	4.73 lt.	4.82 lt.
ARENA	455 gr.	455 gr.	455 gr.	455 gr.	454.7 gr.	454.7 gr.
BOÑIGA			455 gr.	341 gr	227.4 gr	454.7 gr.
PAJA	227 gr.	136 gr.			90.9 gr	90.9 gr
SUELO	3865 gr.	3956 gr.	3638 gr.	3751 gr.	3774.2 gr	3546.8 gr.

TABLA 8.3 Cantidad mezcla de adobe

8.4. Etapa 3: Proceso de elaboración del adobe.

Se realizan inicialmente sesenta (60) adobes en las instalaciones de la Universidad utilizando la máquina de compresión manual CINVA RAM, luego de la elaboración se dejan secar por treinta (30) días.

8.4.2. Obtención del material prima.

La primera etapa de recolección de la materia prima se desarrolla de la siguiente

manera:

La boñiga se recolecta en potreros o establos donde se encuentre el ganado, después se deja secar a la intemperie por 15 días evitando que la lluvia la humedezca, luego cuando esté completamente libre de humedad se inicia el proceso de trituración con el fin de tener una mayor facilidad en el manejo.

La paja se extrae de los lotes o potreros que han sido recién rozados, también se obtiene en agro centros donde venden el heno utilizado para caballos, con especificaciones de paja de hoja estrella, siendo un pasto típico de los potreros. Si la paja está húmeda, se deja secar por unos días mientras esta termina su proceso de eliminación de agua acumulada, finalmente se procede a cortar la paja en trozos de 5 a 10 cm para que al ser mezclado quedando una mezcla homogénea.

Se extraen dos muestras del suelo ubicado una en la parcelación Yarumito y la otra en el acceso hacia la vereda Yarumito con las especificaciones que se muestran en la figura 8.1, a cada una de ellas se le realiza un ensayo de laboratorio basando en las normas para seleccionar la muestra más adecuada, en este caso la elegida es la número dos (2) basando en su composición más óptima, su comportamiento mecánico y de las partículas de arcilla y de limos que la constituyen.

La arena de granulometría media se obtiene en las ferreterías, y se sabe que su procedencia es del río Cauca donde es extraída para la distribución en la región.

8.4.3. Elaboración de los adobes

Durante el proceso de elaboración de cada uno de los adobes, primero se estableció la dimensión de cada bloque así: 29cm x 14cm x 8cm basándose por la

sección estipulada en la máquina de compresión manual CINVA RAM, la cual es adecuada para la elaboración de adobes macizos.

Con la dimensión ya establecida para la construcción de los adobes, se tomó del proctor modificado la densidad relativa del suelo de $1,6 \text{ g/cm}^3$, para después hacer una conversión de volumen del adobe a un peso del bloque, así tomar peso para hacer la adecuada proporción a cada de los materiales a mezclar y conformar el adobe, las cantidades para la construir cada adobe se muestra en la tablas 8.2 y 8.3

Luego del mezclado de cada una de las cantidades de los adobes que se realizan, se procede a dejar en reposo y secado a la intemperie por treinta (30) días para el curado correcto que debe tener el adobe.

Después de 30 días de la elaboración de los adobes, se procede a realizar los ensayos de compresión y porosidad a los adobes basándose en las especificaciones de la norma NTC 4017.

8.4.3.1.1. Resistencia a la Compresión

El estudio de compresión esta basado en la norma NTC 4017, de acuerdo a esta se inicio con el corte de los sesenta adobes como se especifica en la tabla 8.4 al cincuenta por ciento (50%) de sección del adobe, para luego ser examinados en la maquina universal de ensayos adaptando los parámetros para el cálculo y molde de base para aplicar la carga, midiendo su esfuerzo de compresión.

T	COMPOSICIÓN	No. de muestras
4	SUELO + ARENA 10%+ BOÑIGA 7,5%	10
3	SUELO + ARENA 10%+ BOÑIGA 10%	10
2	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 3%	10
1	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 5%	10
5	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 2%-BOÑIGA 5%	10
6	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 2%-BOÑIGA 10%	10

Tabla 8.4 Numero de muestras para ensayo de compresión

8.4.3.1.2. Absorción de humedad

Para realizar el ensayo de absorción de humedad, se siguen las especificaciones de la norma NTC 4017, se dejan las muestras sumergidas en agua por 24 (veinticuatro) horas. Las muestras utilizadas fueron los cortes del 50% de la sección del adobe sobrantes de los usados para el ensayo de compresión en una totalidad de ensayos por tratamiento como muestra la tabla 8.5.

T	COMPOSICIÓN	No. de muestras
4	SUELO + ARENA 10%+ BOÑIGA 7,5%	10
3	SUELO + ARENA 10%+ BOÑIGA 10%	10
2	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 3%	10
1	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 5%	10
5	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 2%-BOÑIGA 5%	10
6	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 2%-BOÑIGA 10%	10

Tabla 8.5 Numero de muestras para el ensayo de absorción de humedad

8.4.4. Deducción de nuevas cantidades a mezclas escogidas añadiendo cal, construcción de adobes finales

Con base a los ensayos realizados a los adobes iniciales de compresión y absorción de humedad respectivamente, se seleccionan los tres tratamientos con mejores resultado para añadirles cal y mejorar así su resistencia a los ensayos de compresión y absorción de agua.

Teniendo en cuenta las cantidades iniciales, se procede a definir los tratamientos más aptos para integrarles cal y así lograr el mejoramiento en la resistencia a la compresión y absorción de agua, nombrándolos (T #i) como muestra en la Tabla 8.6, especificado la cantidad en porcentaje de cada uno de los materiales diferenciándolos de los iniciales con la letra i, pero sin dejar de lado el número de tratamiento escogido.

CANTIDAD MEZCLA POR ADOBE			
	T 2i	T 3i	T 6i
AGUA	86%	85%	94%
ARENA	10%	10%	10%
BOÑIGA		10%	10%
PAJA	3%		2%
CAL	2.5%	3.5%	3.5%
SUELO	87%	80%	78%

TABLA 8.6. Cantidad en porcentaje mezcla de adobe con cal

Se toma las cantidades en conversión de porcentaje a proporción de peso (gr.) o litros (lt.) respectivamente como muestra en la Tabla 8.7 para tener una mayor facilidad durante preparación y elaboración para cada adobe.

CANTIDAD MEZCLA POR ADOBE			
	T 2i	T 3i	T 6i
AGUA	3.94 lt.	3.87 lt.	4.27 lt.
ARENA	455 gr.	455 gr.	454.7 gr.
BOÑIGA		455 gr.	454.7 gr.
PAJA	136 gr.		90.9 gr
CAL	114 gr.	159 gr.	159 gr.
SUELO	3956 gr.	3638 gr.	3546.8 gr

TABLA 8.7 Cantidad mezcla de adobe con cal

Para la ejecución de los ensayos de absorción de agua y de la resistencia a la compresión, se utilizan las cantidades de los adobes para ejecutar estos ensayos como muestra en la Tabla 8.8.

T	COMPOSICIÓN	No. de muestras
2i	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 3% + CAL 2,5%	5
3i	SUELO + ARENA 10%+ BOÑIGA 10% + CAL	5
6i	SUELO + ARENA 10%+ PAJA 2% + BOÑIGA 10 % +CAL	5

Tabla 8.8 Número de muestras para el ensayo de absorción de humedad y de compresión.

9. RESULTADOS

A continuación se presentaran los resultados de los ensayos mencionados a lo desarrollo de esta tesis.

9.2. Características físicas y mecánicas del suelo

9.2.2. Límites de Atterberg

Se realiza un (1) ensayo de clasificación a cada tipo muestra de suelo extraído, siguiendo la norma **NTC 4630**.

Los resultados de los límites, indican que el suelo sometido a prueba, es en su gran mayoría limos, con combinaciones limo arcilloso en la muestra 2 y arenosa limosa en la muestra 1.

La muestra 2 se encuentra en la categoría MH, los cuales están caracterizados por tener un límite líquido mayor al 50%, este presenta un valor medio de 56% y el límite plástico presenta un valor medio de 43%.

La muestra 1 se encuentra en la categoría SM, los cuales están caracterizados por tener un límite líquido menor al 50%, este presenta un valor medio de 48% y el límite plástico presenta un valor medio de 37%.

Las profundidades a las cuales se extrajeron las muestras inalteradas están comprendidas así: 0.5m la muestra 1 y a 1m la muestra 2, la humedad natural de la muestra 1 tiende a un valor de 69% y de la muestra 2 tiende a un valor de 85%.

A continuación se muestra en la Tabla 9.1 un resumen de las propiedades del suelo como: humedad natural, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y clasificación.

Muestra	Limite Liquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice Plasticidad (%)	Contenido humedad (%)	Clasificación USCS
1	48	37	11	69	SM
2	56	43	13	85	MH

Tabla 9.1. Clasificación del suelo

Se clasifican ambas muestras de suelo con alta composición de limos, pero la muestra 1 está conformada adicionalmente por arenas o limos gruesos y la muestra 2 adicionalmente está constituida por arcillas.

9.2.3. Gravedad específica

El ensayo de gravedad específica es realizada según las especificaciones nombradas en el capítulo anterior, los resultados se han organizado en la siguiente tabla:

Muestra	Profundidad m	Gravedad Especifica
1	0.5	2.74
2	1.0	2.63

Tabla 9.2. Resultado del ensayo de gravedad específica.

Según (Proyecto UTP. Suelos del eje cafetero. 2011), la gravedad específica de las cenizas volcánicas oscila entre 2.65 y 2.75.

9.2.4. Ensayo de compresión no confinada y Proctor modificado

En la tabla 9.3 se indican los valores de: la cohesión del suelo en estado inalterado y el peso unitario seco máximo, con su grafica en relación del contenido de humedad vs peso unitario, graficas 9.1 y 9.2 para la determinación el suelo apto para la elaboración de los adobes.

Muestra	Cohesión (Kg/cm ²)	Proctor Modificado	
		Peso Unitario seco máximo (g/cm ³)	Humedad óptima (%)
1	0.4	1.37	20
2	0.47	1.32	19

Tabla 9.3. Cuadro resumen de cohesión y densidad relativa.

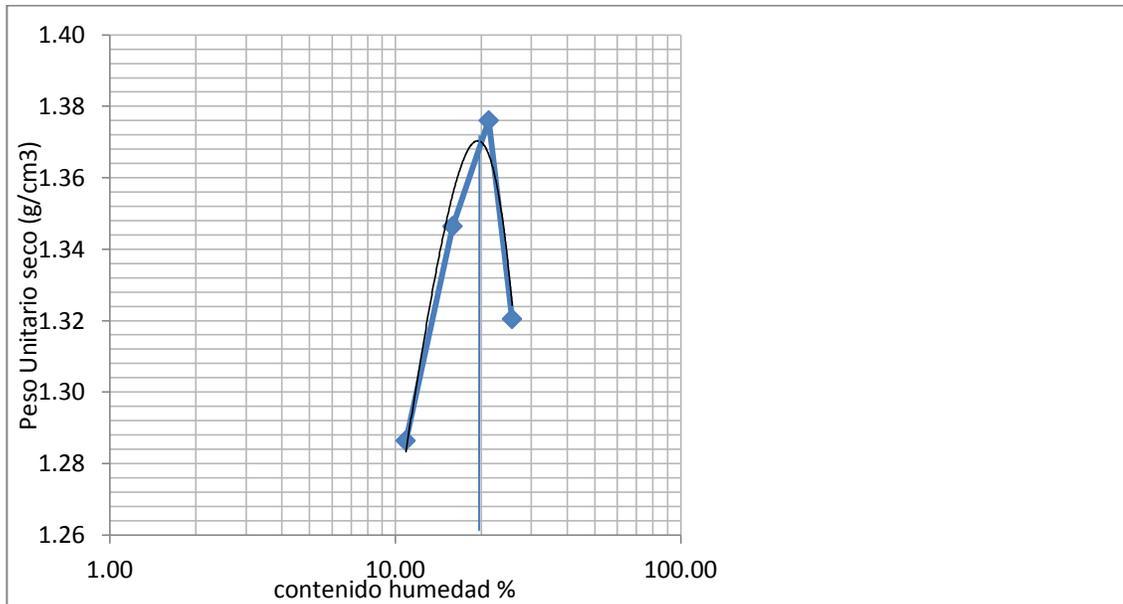


Gráfico 9.1. Ensayo Proctor muestra 1.

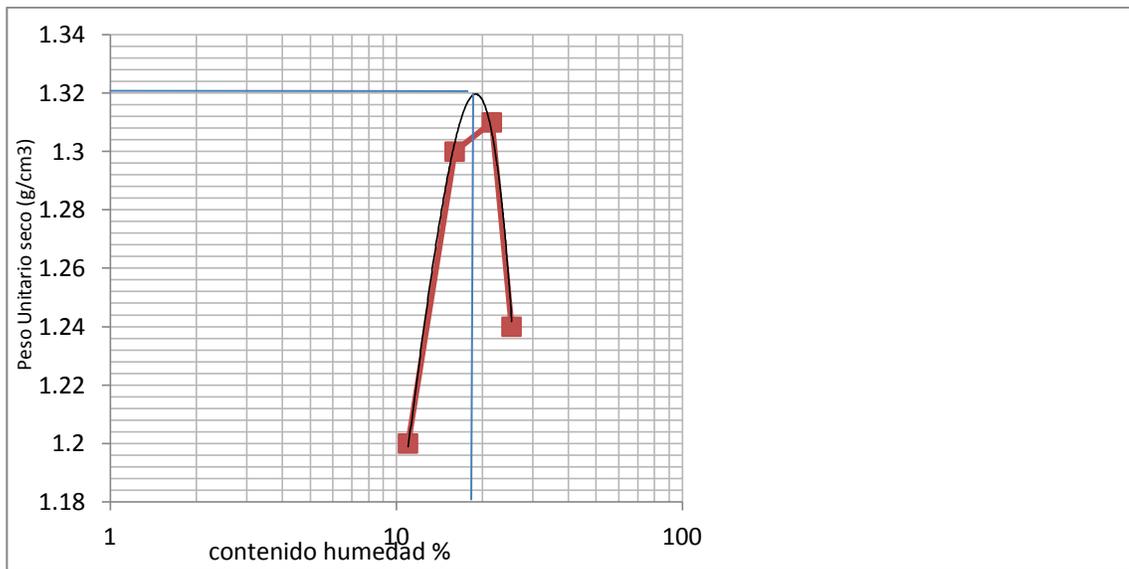


Gráfico 9.2. Ensayo Proctor muestra 2.

Se puede observar que los valores de la cohesión de los suelos están un rango de 0.4 Kg/cm² y una peso unitario seco máximo de 1.37 a 1.32 g/cm³ compactada con una humedad con promedio de 20%, mostrando la similitud de características mecánicas en los suelos analizados.

9.2.5. Granulometría por medio de hidrómetro

La tabla 9.4 muestra el análisis de los resultados del ensayo de hidrómetro y lavado por tamiz #200 para su análisis en partículas.

Muestra	HIDROMETRO					TAMIZ #200	
	% Arcilla	% Limos Finos	% Limos medio	% Limos gruesos	% Arena	% Finos	% Arena
1	0	3.43	14.41	72.15		28.03	71.97
2	29.35	37.44	50.62	71.71		62.04	37.96

Tabla 9.4. Tabla con ensayo para clasificación granulométrica por hidrómetro y tamiz #200.

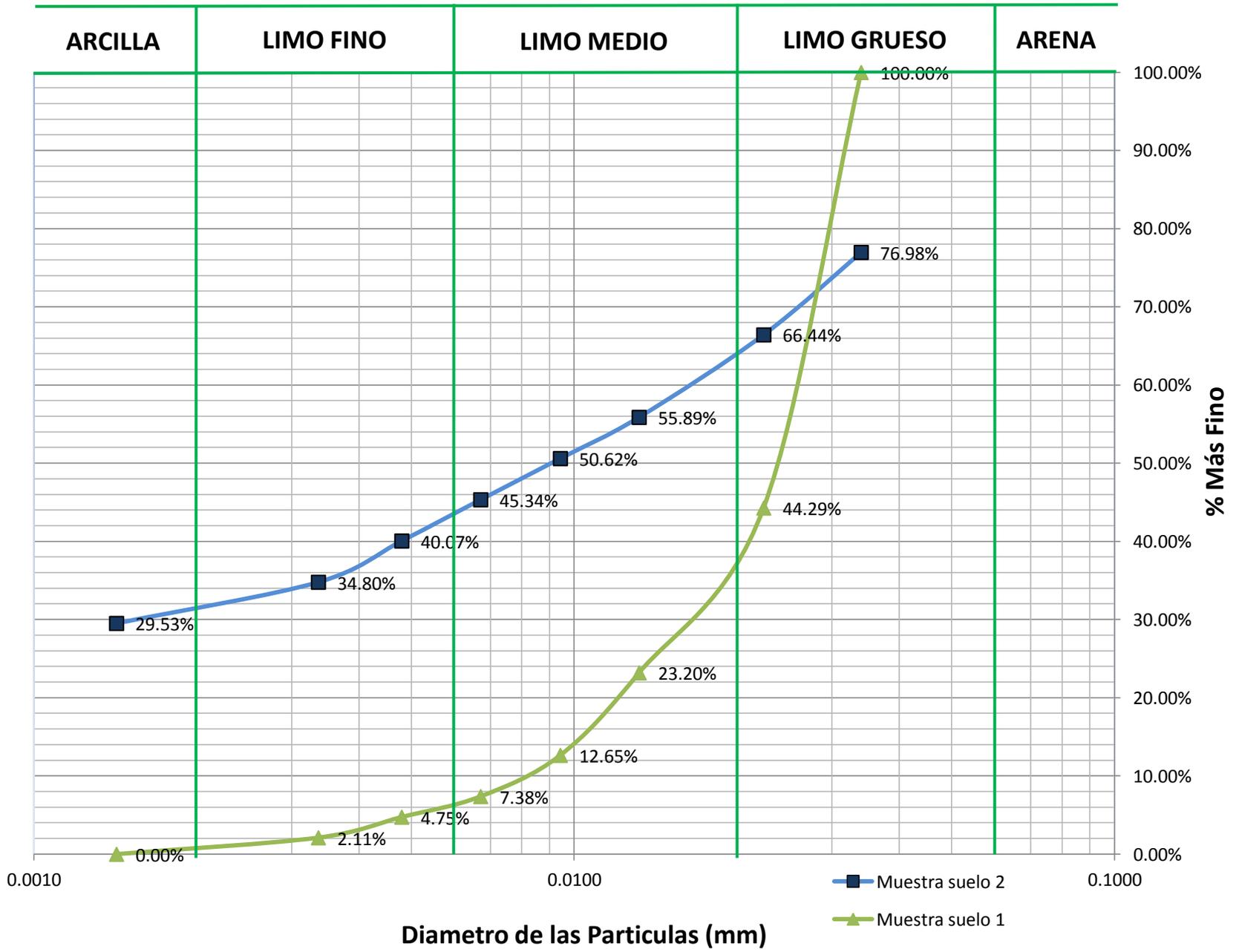


Gráfico 9.3. Ensayo de Hidrómetro

Analizando los resultados de la grafica 9.3 para la clasificación del suelo apto para la elaboración de los adobes, la muestra 1 se considera un suelo con partículas gruesas por tener 0% en arcilla y un contenido de 72.15% de limos gruesos. La muestra 2 está conformada por 29.35% de arcilla, un promedio de limos finos de 37.44% y de limos gruesos 59.05%. En el ensayo en lavado de tamiz #200, ratifica la composición granulométrica del ensayo de hidrómetro, con una composición de la muestra 1 de partículas gruesas del 71.97% y partículas de fino de 28.03%, y en la muestra 2 compuesta de 62.04% de partículas finas y 37.96% partículas gruesas.

La muestra 2, es el suelo seleccionado para la elaboración de los adobes por la composición de las partículas.

10. ANÁLISIS DE LA ELABORACIÓN DE ADOBES

Después de analizar las muestras de suelo con base de granulometría por medio del hidrómetro y el lavado del tamiz # 200, se procede a mezclarse el suelo numero dos (2) con los aditivos asignados según las cantidades especificadas en la Tabla 2.2 para elaboración de los adobes y analizar estudio de compresión y de absorción de agua.

10.1 Resistencia a la compresión y absorción de los adobes analizados

Pasados los treinta (30) días de curado a la intemperie de los adobes (60 adobes iniciales), se realiza el ensayo de compresión sobre la base de las especificaciones de la Tabla 10.1 para la ejecución de las pruebas en la NTC 4017 y en los resultados de las propiedades físicas establecidas por la NTC 4205.

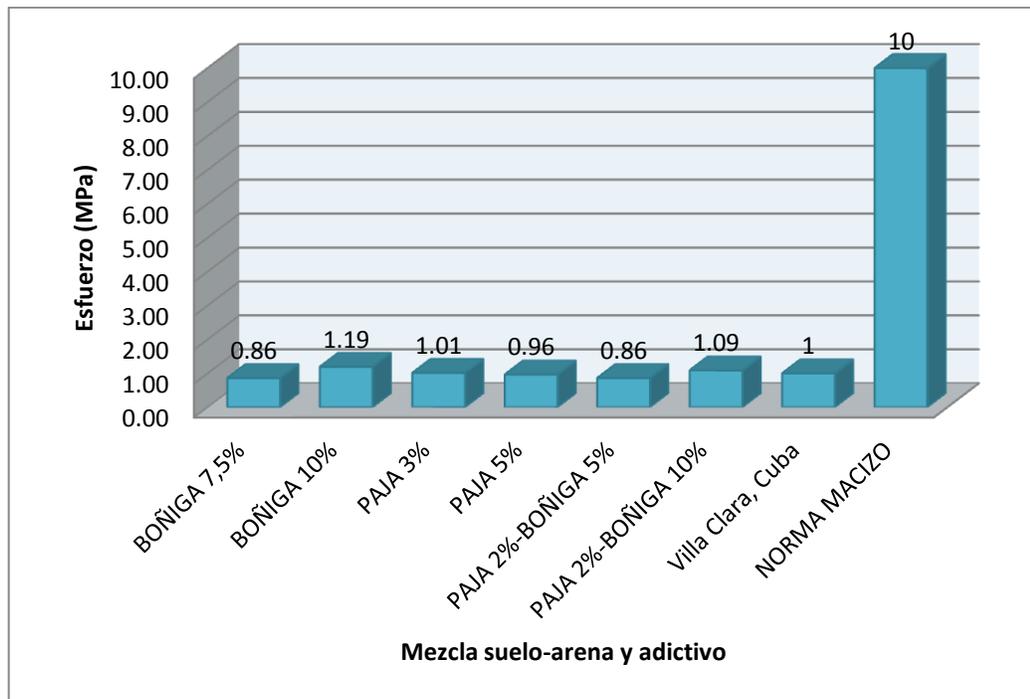
Resistencia minima a la compresión MPa (kgf/cm ²)		
Tipo	Prom 5 U	Unidad
PH	3,0 (30)	2,0 (20)
PV	14,0 (140)	10,0 (100)
M	14,0 (140)	10,0 (100)

Tabla 10.1 Propiedades de compresión de unidades de mampostería no estructural.

PH = unidad de mampostería con perforaciones horizontales.

PV = unidad de mampostería con perforaciones vertical

M = unidad de mampostería macizos (ladrillo).



Grafica 10.1 Ensayo de compresión de los adobes

Se observa en la grafica 10.1 que los adobes iniciales con la mezcla suelo-arena más los diferentes aditivos presentan resultados con alta diferencia en las propiedades físicas de un bloque macizo no estructural. Sin embargo en las investigaciones consultadas se puede ver que los adobes elaborados con máquinas de compresión manual, las resistencias a compresión obtenidas son similares a las presentadas en este proyecto cercanas a 1 MPa.

Adicionalmente, estos resultados son superiores a los obtenidos por la investigación realizados por Roux y Olivares 2002, en adobes estabilizados con 6% de cemento y fibra de coco, elaborados con una prensa manual modelo Cinva Ram, como también los obtenidos por Otero y Sandoval 2003 y Yetgin et al , 2006, en adobes realizados con suelo comprimido.

Al mismo tiempo, Tejada 1993, Moromi 1993 y Red Habiterra 1995 y Saroza et al 2008, coinciden en que la resistencia mínima que debe alcanzar un adobe debe encontrarse entre 1,00 y 1,20 MPa, valores alcanzados en todos los adobes probados.

La muestra 1 con aditivo de paja 5% oscila entre una resistencia a la compresión mínima de 0.69MPa y una máxima de 1.09MPa, con una desviación estándar de 0.12MPa y un valor medio 0.96MPa. La muestra 2 con aditivo de paja al 3% oscila entre una resistencia a la compresión mínima de 0.88MPa y máxima de 1.14MPa, con una desviación estándar 0.069MPa y un valor medio 1.01MPa.

La muestra 3 con aditivo de boñiga 10% fluctúan entre una resistencia a la compresión mínima de 0.85MPa y máxima de 1.38MPa, con una desviación estándar 0.15MPa y un valor medio de 1.19MPa. La muestra 4 con aditivo de boñiga al 7,5% oscila entre una resistencia a la compresión de mínima de 0.59 MPa y máxima de 0.99 MPa, con una desviación estándar 0.11MPa y un valor medio 0.86MPa.

La muestra 5 con aditivo de paja 2% y boñiga 5% oscila entre una resistencia a la compresión mínima 0.78MPa y máxima 0.94MPa, con una desviación estándar 0.042MPa y un valor medio 0.86MPa. La muestra 6 con aditivo de paja 2% y boñiga 10% fluctúa entre una resistencia a la compresión mínima 1.05MPa y máxima 1.16MPa, con una desviación estándar 0.08MPa y un valor medio 1.09MPa.

Para los adobes iniciales, los resultados que arrojan los ensayos de la resistencia a la compresión no son viables en comparación del ladrillo macizo según las propiedades mecánicas relacionadas en la norma técnica, como lo nota en la Grafica 10.1.

Para realizar el análisis de absorción de agua en los adobes, se inició con el pesaje de cada adobe en su sección del 50%, previamente realizada, durante el ensayo de compresión, mostrando cada uno de ellos a continuación en la Tabla 10.2 para las muestras iniciales así:

MEZCLA ADOBE	PROMEDIO DE PESO ADOBE SECO (SECCION 50%) (gr.)
SUELO - PAJA 3%	1205.5
SUELO - PAJA 2%-BOÑIGA 10%	1145.0
SUELO- BOÑIGA 10%	1307.0
SUELO - PAJA 5%	1368.0
SUELO - PAJA 2%-BOÑIGA 5%	1261.0
SUELO- BOÑIGA 7.5%	1146.0

Tabla 10.2 Peso adobes iniciales al 50% sección

Para el ensayo de absorción de agua basado en la Tabla 10.3 según como especifica la norma NTC 4205, los resultados fueron inaceptables al compararlos con el comportamiento del ladrillo macizo.

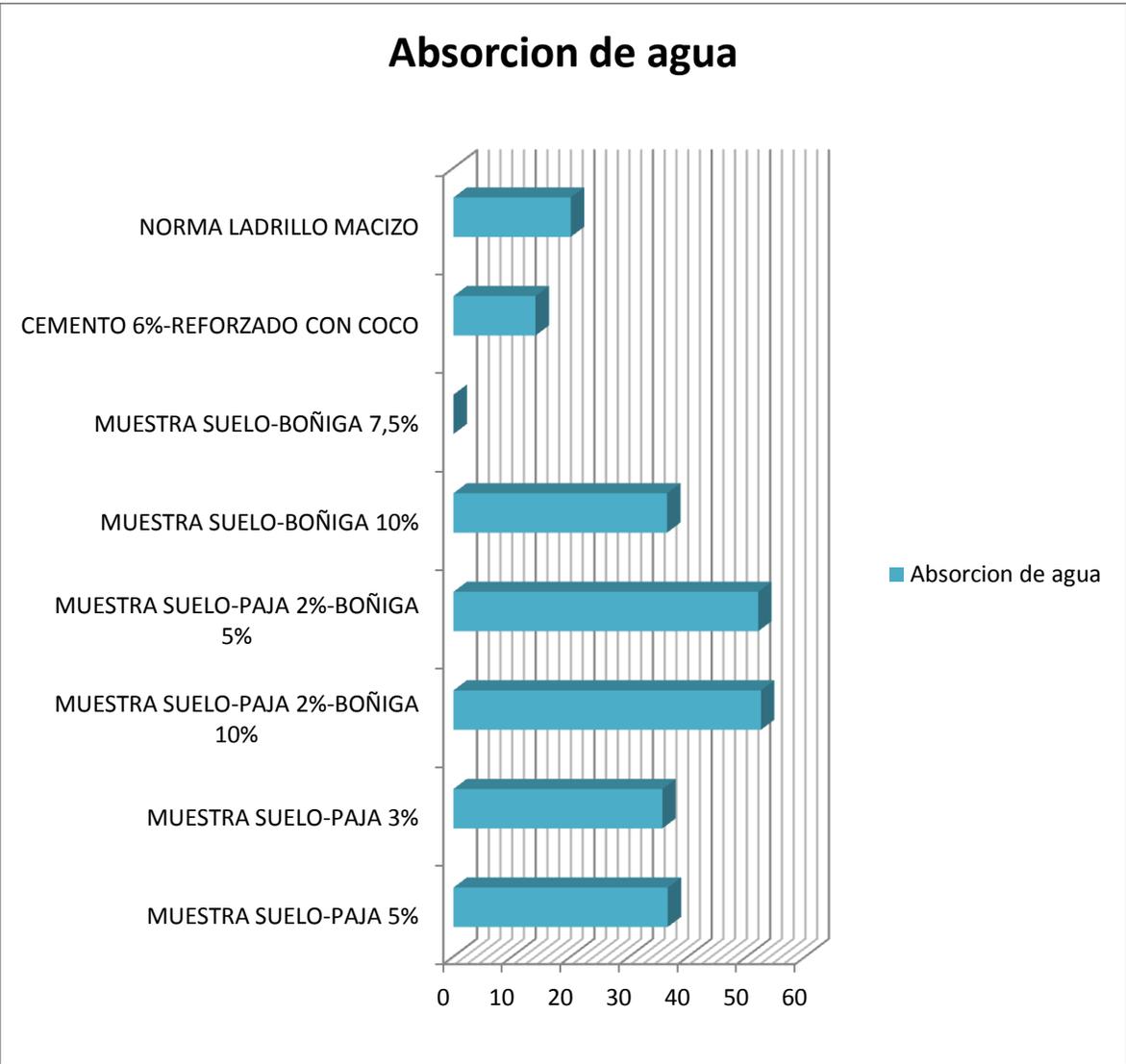
Absorción de agua máxima en %		
Interior		
	Prom 5 U	Unidad
PH	17	20
PV	17	20
M	17	20

Tabla 10.3 Propiedades de absorción de agua en mampostería no estructural.

PH = Unidad de mampostería con perforaciones horizontales.

PV = Unidad de mampostería con perforaciones vertical

M = Unidad de mampostería macizos (ladrillo).



Grafica 10.2 Ensayo de absorción de agua de los adobes

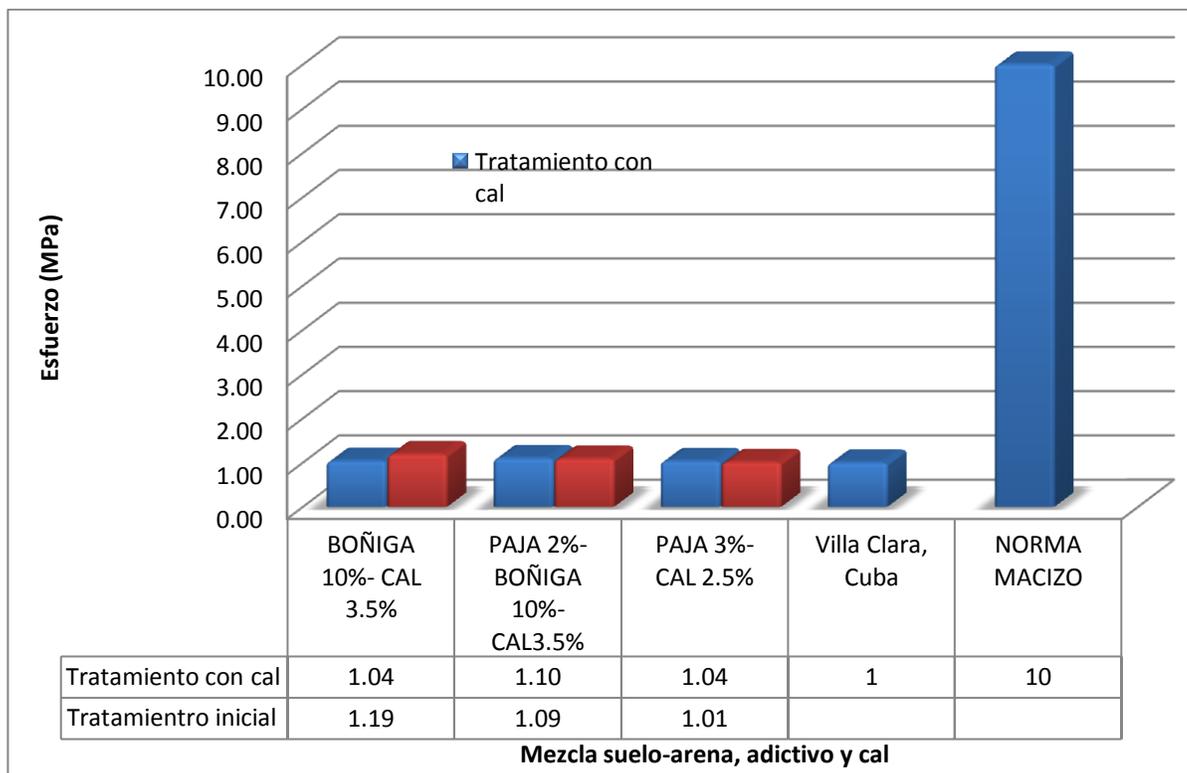
En la grafica 10.2, se compara el porcentaje de absorción de agua que produce promedio cada tratamiento en relación con el de ladrillo macizo.

En la muestras, 1 donde se utiliza el aditivo paja al 5% la muestra 2 con aditivo con paja al 3%, la absorción de agua fueron similares en un valor en la primera de 35.63% y la segunda de 36.55%, pero en la muestra 2 se presentan inconvenientes al momento de pesar el material con agua por su desmoronamiento y destrucción de algunos adobes impidiendo el pesaje con agua absorbida en las 24 horas como lo especifica la norma.

La muestra 3 con aditivo de boñiga al 10% y la muestra 4 con aditivo de boñiga de 7.5% los resultados fueron inversos, la muestra 4 presento en la totalidad de los adobes la destrucción por saturación de agua en los bloques, esto impide la manipulación durante el pesaje para analizar la cantidad de agua absorbida, por esta razón no se puede cuantificar el grado de humedad de cada adobe. La muestra 3 presenta una absorción de agua de 36.42% y presenta muy pocos bloques destruidos o con desmoronamiento de partículas.

La muestra 5 con aditivo de paja de 2% y boñiga de 5% y la muestra 5 con aditivo de paja de 2% y boñiga de 10%, presenta igualdad en sus resultados de absorción, en la primera, presento una humedad de 51.96% y en la segunda de 52.43%, mostrando en la mayoría de los adobes poca destrucción o desmoronamiento.

Para resolver el problema de absorción encontrado, se decide la adición de cal a los tratamientos con mejor respuesta a la compresión presentada, se observa que con la adición de cal no se obtuvieron mejoras considerables



Grafica 10.3 Comparación ensayo a la compresión de adobes iniciales y finales.

Como se presenta en la Grafica 10.3, no se muestra una mejoría al aplicarle cal en la mezcla para la elaboración de los adobes, en el tratamiento de suelo con boñiga 10% y cal 3.5%, no presento un mejoramiento en la resistencia a la compresión como se estimaba en un inicio al aplicarle la cal, oscila entre una resistencia mínima de 0.96 MPa y una máxima 1.12 MPa, con un valor medio de 1.04 MPa.

El tratamiento de suelo con paja 2%, boñiga 10% y cal 3.5%, fluctua con una resistencia mínima 1.06 MPa y una máxima 1.13 MPa, en comparación con el tratamiento inicial del adobe con mezcla paja 2% y boñiga 10%, al aplicarle como aditivo cal no presento una mejoría en la resistencia sino que presenta una igualdad en la resistencia inicial.

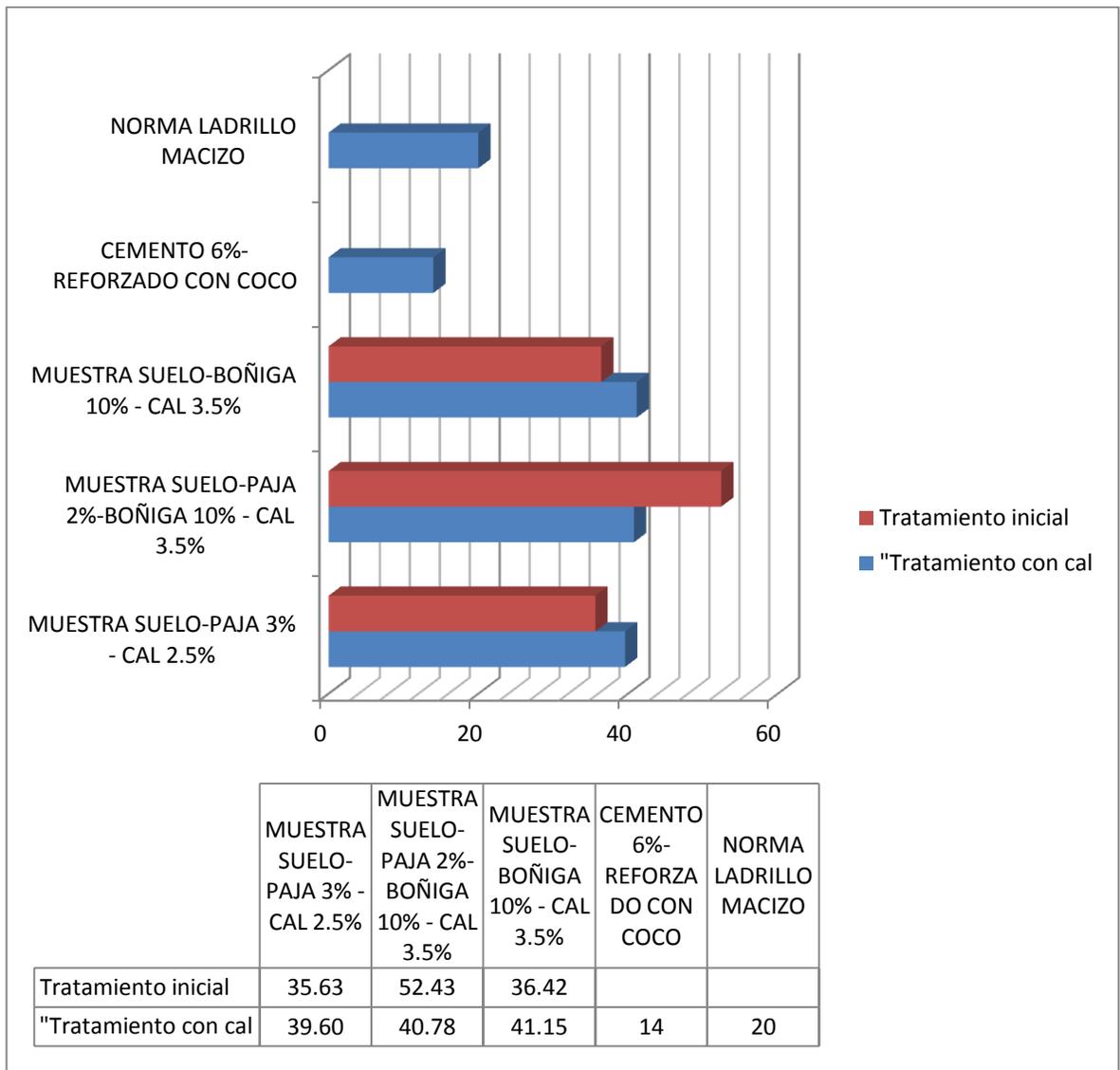
El tratamiento de suelo con paja 3% y cal a 2.5%, oscila entre una resistencia a compresión minina de 1MPa y una máxima de 1.07 MPa, al aplicarle cal a la

muestra inicial suelo con paja 3% para mejoramiento de la resistencia a la compresión, no presenta un aumento a la resistencia.

En los ensayos para mejoramiento en la propiedad de absorción de agua en los adobes iniciales mezclándoles cal para la disminución de absorción, presento los resultados, presentados en la gráfica 10.4 para la realización de estos ensayos se realiza el mismo procedimiento utilizado en los adobes iniciales, cortando y pesando cada uno de ellos mostrado en la tabla 10.4 los pesos de los adobes a los cuales se les añadió cal.

MEZCLA ADOBE	PROMEDIO DE PESO ADOBE SECO (SECCION 50%) (gr.)
SUELO- PAJA 3%- CAL 3.5%	1238.00
SUELO- PAJA 2%- BOÑIGA 10%- CAL 3.5%	1366.00
SUELO- BOÑIGA 10%- CAL 2.5%	1224.00

Tabla 10.4 Pesos adobes con aditivo de cal al 50% sección



Grafica 10.4 Comparación ensayo de absorción de adobes iniciales y finales.

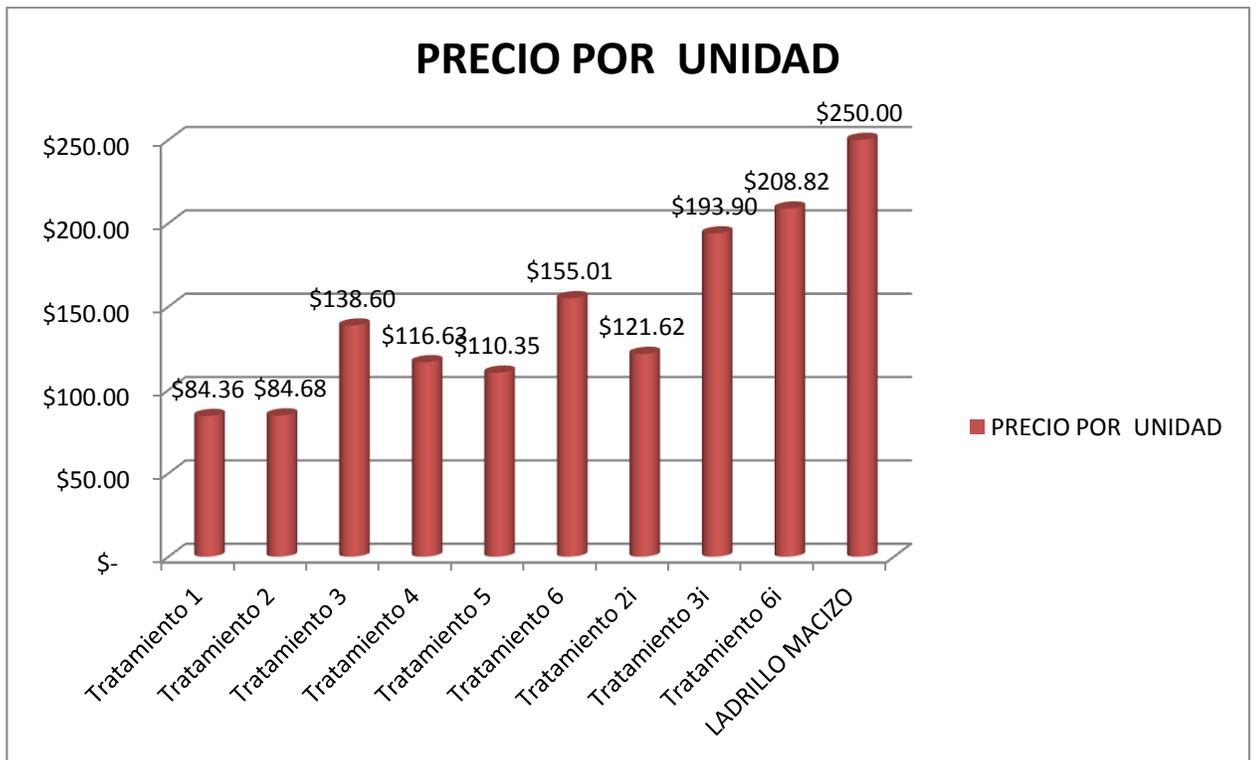
En el ensayo de absorción como muestra la grafica 10.4 de los tratamientos finales, en los cuales se integro cal para el mejoramiento de los resultados, en la muestra de suelo con boñiga al 10% y cal 3.5% arrojó un resultado mínimo de absorción de 31.67% y un máximo de 65.49% con un promedio de 41.15% en relación con el ensayo inicial de absorción de agua no presento un mejoramiento en la propiedades de absorción, en cambio da un resultado similar al obtenido inicialmente.

En el tratamiento con suelo con aditivo paja al 2%, boñiga 10% y cal a 3.5%, oscilo con un resultado de absorción mínimo de 37.41% y máximo de 46.15%, y un promedio de 40.78%; en relación con el ensayo inicial del tratamiento de 52.43%, presenta un mejoramiento en el resultado de absorción de agua, disminuyendo su capacidad de absorción pero no en forma considerable en función de lo que especifica en la norma NTC 4205.

En el tratamiento suelo con aditivo de paja al 3% y cal al 2.5%, sus resultados de absorción son de mínimo 27.86% y una máxima de 65.48%, con un promedio de 39.6%, en comparación del tratamiento inicial no presenta un mejoramiento de propiedad de absorción.

10.2 Análisis de costos de fabricación

En la evaluación inicial por costo de cada tratamiento, se describe el costo de cada unos de los adobes en comparación del valor en el mercado de un ladrillo macizo convencional así:



Grafica 10.5 Comparación costos por unidad de tratamiento de adobes VS ladrillos.

Los costos analizados en la gráfica 10.5, muestran que por ser la materia prima de los adobes en su mayoría productos naturales que se consiguen en potreros, el costo varía en la función de la cantidad que se obtenga, es decir la mano de obra necesaria para la recolección del material, ya sea paja, boñiga o tierra, Los únicos productos que se obtienen en el mercado son la arena y la cal, por lo que la diferencia entre el costo de producción de un ladrillo convencional es mucho mayor al valor por unidad de un adobe de cualquiera de los tratamientos utilizados y desarrollados a lo largo de este trabajo.

11. CONCLUSIONES

A continuación se muestran las conclusiones a las que se llegan después de la realización de este trabajo:

- Los adobes iniciales con la composición que se determina presentan una resistencia a la compresión por debajo del ladrillo macizo como se especifica en la norma NTC 4205, la resistencia de los adobes oscilo con un promedio entre 0.86Mpa a 1.19MPa y del ladrillo macizo según la norma es de 10MPa, con una diferencia muy notoria, concluyendo que es un material no apto para la elaboración de muros no estructurales (muro divisorios) en las construcción de viviendas, si es comparado con el ladrillo convencional.
- Sin embargo estos resultados son superiores a los obtenidos por Roux y Olivares 2002, en adobes estabilizados con 6% de cemento y fibra de coco, elaborados con una prensa manual modelo Cinva Ram, a los obtenidos por Otero y Sandoval 2003 y Yetgin et al , 2006, en adobes realizados con suelo comprimido. Tejada 1993, Moromi 1993 y Red Habiterra 1995 y Saroza et al 2008, coinciden en que la resistencia mínima que debe alcanzar un adobe debe encontrarse entre una resistencia a la compresión de 1,00 y 1,20 MPa, valores alcanzados en todos los adobes probados.
- Se concluye que no pueden ser comparados los adobes con la resistencia de los ladrillos macizos, y debe seguirse la investigación verificando la respuesta sísmica de los adobes.
- En la propiedades de absorción de agua en los adobes se concluye que las muestras de paja 2%- boñiga 5% y paja 2%- boñiga 10% tienden a tener gran capacidad de absorción de agua con un promedio de 51.96% y 52.43% respectivamente, los adobes con muestra de paja de 3% y 5% presentan un absorción de 35.63% y 36.55% respectivamente en comparación con la

capacidad de absorción que presenta el ladrillo macizo de 20%, pero en determinación los adobes realizados con estos aditivos presentan un índice de absorción alta que disminuye la capacidad de resistencia y así se determina no ser apto para la construcción de viviendas.

- Los adobes con muestra de boñiga 10% y boñiga 7,5% tienden a una relación muy diferente en capacidad de absorción de agua, ya que la primera muestra tiene una capacidad de absorción de 36.42%, no siendo muy alta en comparación con la capacidad del ladrillo macizo, la segunda presenta una destrucción por estar en contacto con el agua, concluyendo así que el adobe de menor cantidad de aditivo como en el caso de la boñiga disminuye en consideración sus propiedades mecánicas.
- Al aplicar cal en las muestras de suelo-boñiga 10%, suelo-boñiga 10%-paja 2% y suelo-paja 3%, no presenta una mejora en la resistencia a la compresión como se había analizado al inicio de los adobes.
- En propiedades de absorción de agua en los adobes a los que se aplicaron cal en el tratamiento, suelo – paja 3% y suelo – boñiga 10% no presentan mejoramiento alguno, al contrario el tratamiento suelo- paja 3%- boñiga 10% presenta un mejoramiento en la propiedad de absorción, inicialmente tuvo un porcentaje de 52.43% de absorción de agua y presentó una mejora en la propiedad de absorción a 40.78%, pero no en consideración con la propiedades de un ladrillo macizo con un 20% absorción de agua como lo establece la norma NTC 4205.
- Se concluye que el problema de alta absorción de agua obtenida, no puede ser solucionado con la adición de cal, motivo por el cual se recomienda el uso de una máquina de compresión hidráulica que permita una mayor cohesión de las partículas de suelo con paja, boñiga y cal, o en la aplicación en el suelo de

un material de estabilización que mejore la capacidad impermeabilidad para su aplicación final.

- La diferencia de costo entre un ladrillo macizo y un adobe, es mucho más económico el adobe con aditivos como boñiga y paja, pero con una alta absorción de agua, que debe ser solucionada y continuar la investigación.
- En respuesta a la pregunta de investigación se puede concluir que, al realizar el análisis de la elaboración de cada uno de los adobes con diferentes componentes y aditivos, se logro establecer que estos elementos pueden ser usados para la construcción de muros divisorios no estructurales, siempre y cuando no estén sometidos a la intemperie.

Es claro que sus resistencias a la compresión no pueden ser comparadas con la normatividad nacional para ladrillos macizos, si no con las investigaciones existentes a nivel mundial, esta situación sugiere que en Colombia deben generarse normatividades específicas para ser aplicadas en adobes.

La principal falencia detectada en la investigación es la alta absorción de agua del material, que será resuelta, como ya se indico, en investigaciones posteriores.

12. RECOMENDACIONES

- La cuantía de material inicial de aditivos en los adobes de paja, boñiga y arena, puede ser variada para un análisis más extenso y conocer una mezcla que presente mejores comportamientos mecánicos y de absorción de agua.
- Para un mejor manejo de la paja como aditivo, es preferible hacer una adecuada trituración o corte en su fibra para el fácil manejo y presente una homogeneidad al momento de su mezcla con los demás productos para la elaboración de los adobes.
- Se puede analizar que otros materiales orgánicos que se encuentran en la región de fácil acceso y manipulación pueden mezclarse con los enunciados inicialmente o individualmente para fabricar un adobe más acorde a la norma.
- Se recomienda probar los mismos tratamientos con el uso de una máquina de compresión hidráulica que logre una mejor adhesión entre los componentes del adobe.

BIBLIOGRAFÍA

A. Lizcano, M.C. Herrera y J.C. Santamarina. 2006. SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN COLOMBIA

Carvajal C, I. 1996, El cisco de café, una alternativa constructiva tecnológica en la elaboración de elementos constructivos. Universidad Nacional Sede Manizales.

Choques G., Huaman J., Adobes Comprimidos Suelo-Cemento Una Alternativa Ecológica. XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Colegio de Ingenieros del Perú. Universidad Andina.

García J.M. 2001 Subsidios para vivienda: ¿realidad para los ricos, sueño para los pobres?, III Seminario de Administración Pública: FMI, ¿amigo o enemigo?. Universidad Nacional de Colombia.

Minke. G. 1994. Manual de construcción en tierra. Pag.73

Otero B., L.A*, Sandoval, J F. 2003. Comportamiento De Bloques De Tierra Comprimida Sometidos A Diferentes Condiciones De Humedad. II Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra Madrid, 18-19 de septiembre de 2003.

Norma I.N.V.E-124-07 “Análisis granulométrico por medio del hidrómetro”.

I.N.V.E-128-07 “Determinación de la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral”.

Norma I.N.V.E 142 “Relaciones de humedad – masa unitaria seca en los suelos (Ensayo modificado de compactación)”.

NTC 78 “Método para determinar por lavado el material que pasa por el tamiz 75 UM en agregados minerales”

NTC 1494 “Ensayo para determinar el límite de líquido”

NTC 1495 “Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas”

NTC 1527 “Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión incofinada de suelo cohesivos”.

NTC 4017 “Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.”

NTC 4205 “Unidades de mampostería de arcilla cocida ladrillos y bloques cerámicos”

Pons, G. 2001. La Tierra Como Material De Construcción. San Salvador

Primeros Adobe, Ladrillo (artículo sin autor específico)
es.scribd.com/doc/28141068/Primeros-Adobe-Ladrillo

Proyecto UTP-GTZ. 2001, Suelos del eje cafetero. Facultad de Ciencias Ambientales. Pereira

Red Habiterra.1995 “Recomendaciones para la elaboración de normas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo cemento”. Habiterra CYTED. Bolivia. 1995. p. 110.

Roux G, R.S, Y Olivares, Sm. (2002). Utilización De Ladrillos De Adobes Estabilizados con Cemento Portland al 6% y Reforzados con Fibra de Coco, para Muros de Carga en Tampico. Informes de la construcción, Vol. 53, n° 478, marzo-abril 2002.

Sarozá B., Rodríguez M.A. , Menéndez J.M. , Barroso I.J. 2008 Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba

Vélez, J.G. ARQUITECTURA EN BARRO, Diciembre 1999 a Enero de 2000. 1er Congreso Virtual de Arquitectura, Caracas, Venezuela.

Vélez, J.G. ARQUITECTURA DE BARRO, 2008 Especial para el V Encuentro Internacional de Hábitats Sostenibles organizado por BIOCASA- CAMACOL en Cali, Colombia.

Ş Yetgin, Ö ÇAVDAR ,A Çavdar, 2006. The effects of the fiber contents on the mechanicproperties of the adobes. Department of Civil Engineering, Gumushane Faculty of Engineering,

Zuluaga D. Tesis de Posgrado. 2005. "El uso de la cal en la estabilización de suelos derivados de cenizas volcánicas (andosoles). Un caso particular"

ANEXOS

	ANALISIS DE CONTENIDO HUMEDAD		
Muestra	1		
Fecha	Junio de 2012		
Descripcion	Localizacion muestra lote via Yarumito y parcelacion Yarumito		
Muestra 1			
	masa recipiente	38.5	gr.
	masa recipiente + masa muestra humeda	20.5	gr.
	masa recipiente + masa muestra secado horno (24 H)	12.1	gr.
	Contenido humedad	69.42	%
Muestra 2			
	masa recipiente	58	gr.
	masa recipiente + masa muestra humeda	84	gr.
	masa recipiente + masa muestra secado horno (24 H)	45.2	gr.
	Contenido humedad	85.84	%



Granulometria lavado tamiz #200

Fecha Junio de 2012

Localizacion Kilometro 6 via armenia Vereda Yarumito

Profundidad	1 metro
Muestra:	2
Peso Inicial (g)	116.7
Peso Final (g)	44.3
% Finos	62.04
% Arenas	37.96
Clasificacion	H (arcilla)

Profundidad	0,5 metros
Muestra:	1
Peso Inicial (g)	126.3
Peso Final (g)	90.9
% Finos	28.03
% Arenas	71.97
Clasificacion	S (Arena)



DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO

Localización:

N° Muestra: 2

Descripcion muestra acceso a Vereda Yarumito

Fecha Mayo de 2012

500 mt acceso via Armenia

LIMITE LIQUIDO

RANGO DE GOLPES	N° DE GOLPES	PESO CAPSULA (gr)	PESO CAPSULA + MUESTRA (gr)	PESO MUESTRA SIN CAPSULA (gr) (Wm)	PESO SECO CON CAPSULA (gr)	PESO SECO SIN CAPSULA (gr) (Ws)	$W = ((Wm - Ws) / Ws) * 100$
15 A 20	16	60.8	78.6	17.8	71.4	10.6	67.92%
20 A 30	24	41.8	57.4	15.6	51.8	10	56.00%
25 A 35	32	53.0	86.9	33.9	75.8	22.8	48.68%
						LL % =	56%

LIMITE PASTICO

PRUEBA N°	PESO CAPSULA (gr)	PESO CAPSULA + MUESTRA (gr)	PESO MUESTRA SIN CAPSULA (gr) (Wm)	PESO SECO CON CAPSULA (gr)	PESO SECO SIN CAPSULA (gr) (Ws)	$W = ((Wm - Ws) / Ws) * 100$	LIMITE PASTICO (%)
1°	37.2	42.2	5	40.6	3.4	0.47	47%
2°	42.2	47.2	5	45.7	3.5	0.43	43%
3°	39.4	44.4	5	43	3.6	0.39	39%
						LP%=	43%

IP = INDICE DE PLASTICIDAD

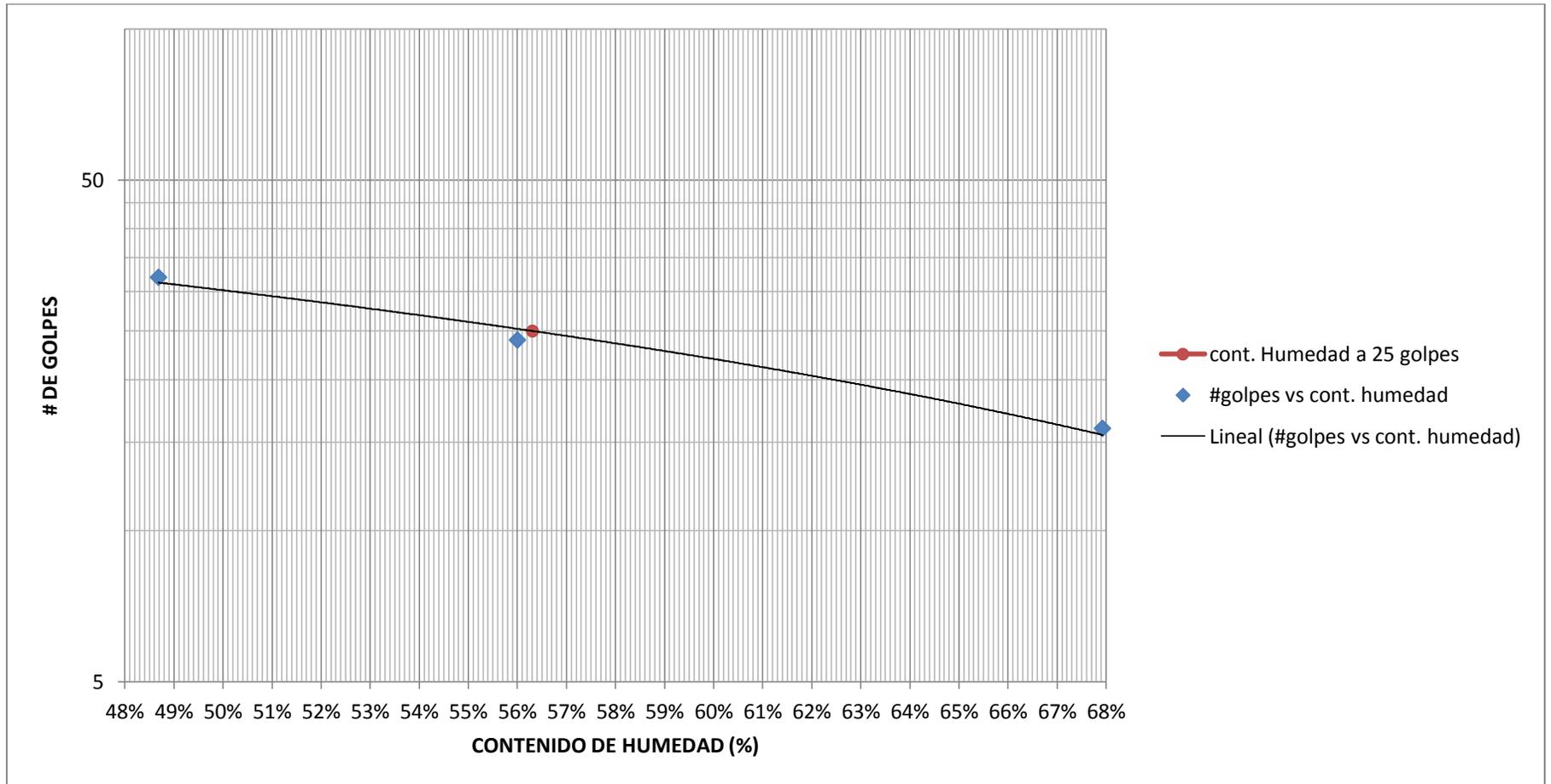
IP=LL-LP

13%

CLASIFICACION DE ACUERDO CON EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

MH

Limo arcilloso





DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO

Localización:

N° Muestra: 1

Descripcion Localizacion muestra lote 2 parcelacion

Fecha Mayo de 2012

Yarumito

LIMITE LIQUIDO

RANGO DE GOLPES	N° DE GOLPES	PESO CAPSULA (gr)	PESO CAPSULA + MUESTRA (gr)	PESO MUESTRA SIN CAPSULA (gr) (Wm)	PESO SECO CON CAPSULA (gr)	PESO SECO SIN CAPSULA (gr) (Ws)	$W = ((Wm - Ws) / Ws) * 100$
15 A 20	16	37.1	49.7	12.60	45.2	8.10	55.56%
20 A 30	22	38.3	57.4	19.10	51.2	12.90	48.06%
25 A 35	32	37.9	55.9	18.00	50.3	12.40	45.16%
						LL % =	48%

LIMITE PLASTICO

PRUEBA N°	PESO CAPSULA (gr)	PESO CAPSULA + MUESTRA (gr)	PESO MUESTRA SIN CAPSULA (gr) (Wm)	PESO SECO CON CAPSULA (gr)	PESO SECO SIN CAPSULA (gr) (Ws)	$W = ((Wm - Ws) / Ws) * 100$	LIMITE PASTICO (%)
1°	37.6	42.5	5	41.2	3.60	0.36	36.11%
2°	39.2	44.1	4.9	42.8	3.6	0.36	36%
3°	37.4	42.4	5	41.0	3.6	0.39	39%
						LP%=	37%

IP = INDICE DE PLASTICIDAD

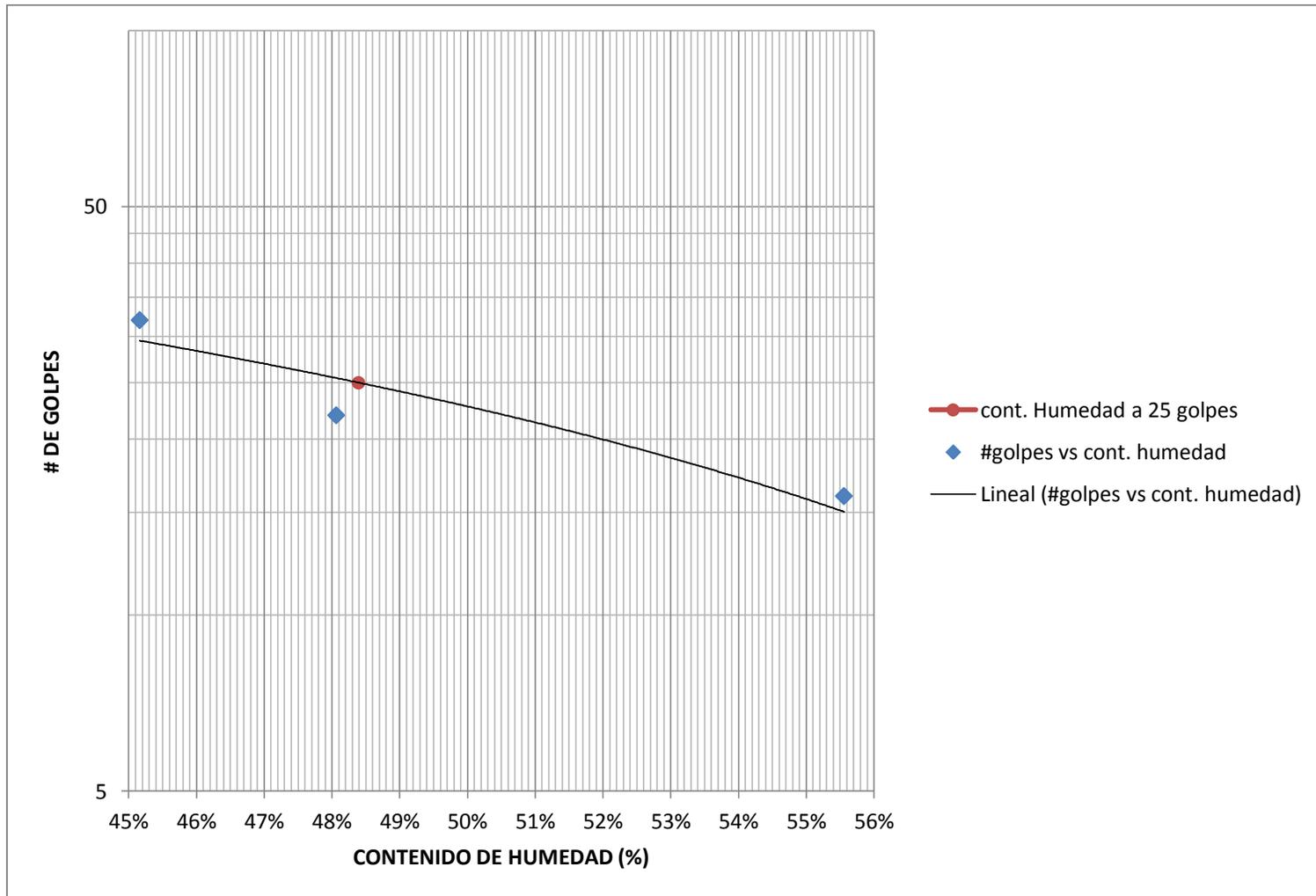
IP=LL-LP

11%

CLASIFICACION DE ACUERDO CON EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SM

Arena limosa





ENSAYO DE COMPRESION INCOFINADA

Muestra	1						
Fecha	Junio de 2012						
Descripcion	Localizacion muestra lote 2 parcelacion Yarumito						
Diametro (cm)	4.85		peso capsula (gr)	58.1		Area (cm2)	18.4745283
altura inicial (cm)	10		peso capsula + muestra humedad (gr)	82.2			
peso muestra (gr)	282.1		peso capsula + muestra seca (gr)	73.1		Cohesion (kg/cm2)	0.4784305
			contenido humedad %	60.6666667			

Def. controlada	Carga axial	Deformacion controlada	Deformacion unitaria E	1-E	Area corregida	Fuerza	Esfuerzo Kg/cm2
5	5	0.0127	0.00127	0.99873	18.4980208	-2.269590909	-0.123
10	8	0.0254	0.00254	0.99746	18.5215731	-1.76	-0.095
15	9.5	0.0381	0.00381	0.99619	18.5451855	-1.505204545	-0.081
20	11	0.0508	0.00508	0.99492	18.5688581	-1.250409091	-0.067
25	12	0.0635	0.00635	0.99365	18.5925913	-1.080545455	-0.058
30	15	0.0762	0.00762	0.99238	18.6163852	-0.570954545	-0.031
40	19.5	0.1016	0.01016	0.98984	18.6641561	0.193431818	0.010
50	25	0.127	0.0127	0.9873	18.7121729	1.127681818	0.060
60	31	0.1524	0.01524	0.98476	18.7604374	2.146863636	0.114
80	45	0.2032	0.02032	0.97968	18.8577171	4.524954545	0.240
100	55	0.254	0.0254	0.9746	18.956011	6.223590909	0.328
120	67	0.3048	0.03048	0.96952	19.0553349	8.261954545	0.434
140	78	0.3556	0.03556	0.96444	19.1557052	10.13045455	0.529
160	88	0.4064	0.04064	0.95936	19.2571384	11.82909091	0.614
180	105	0.4572	0.04572	0.95428	19.3596516	14.71677273	0.760
200	128	0.508	0.0508	0.9492	19.463262	18.62363636	0.957
220	123	0.5588	0.05588	0.94412	19.5679874	17.77431818	0.908

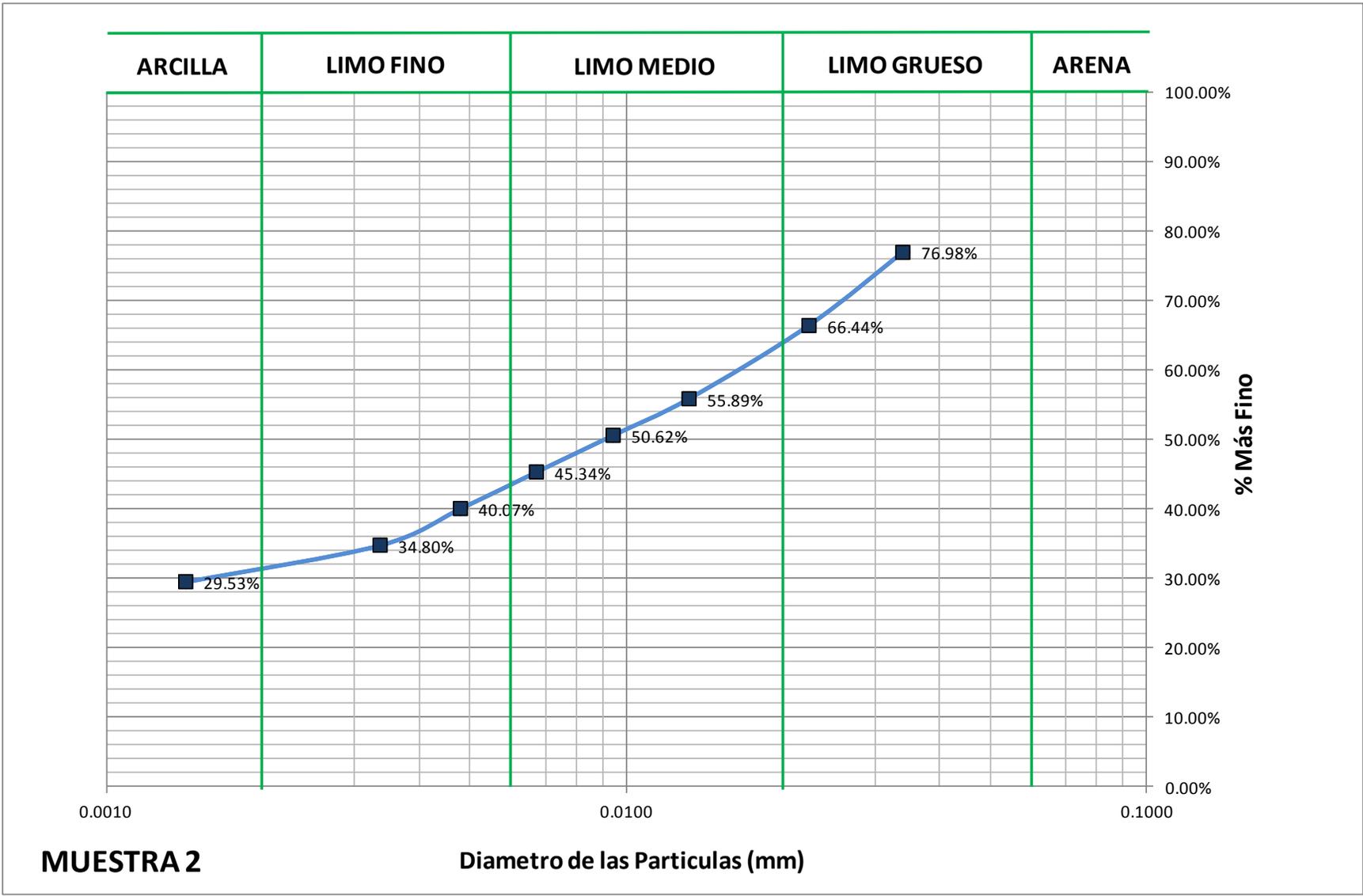


GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO

FECHA	Julio de 2012		
MUESTRA	1		
DETERMINACIÓN	1	2	3
VARIABLES			
Peso picnometro+Agua - wa (g)	331.60	328.40	329.80
Peso picnometro+Suelo+Agua- wb (g)	358.90	368.50	359.30
Peso Suelo seco -ws (g)	42.60	63.80	46.20
Temperatura (°C)	26.50	27.00	27.00
Corrección por temperatura (K)	0.998	0.998	0.998
GRAVEDAD ESPECIFICA	2.78	2.69	2.76
GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO	2.74		
MUESTRA	2		
DETERMINACIÓN	1	2	3
VARIABLES			
Peso picnometro+Agua - wa (g)	330.20	329.40	331.80
Peso picnometro+Suelo+Agua- wb (g)	364.10	363.20	364.50
Peso Suelo seco -ws (g)	54.30	54.80	52.70
Temperatura (°C)	24.00	24.00	24.00
Corrección por temperatura (K)	0.999	0.999	0.999
GRAVEDAD ESPECIFICA	2.66	2.61	2.63
GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO	2.63		

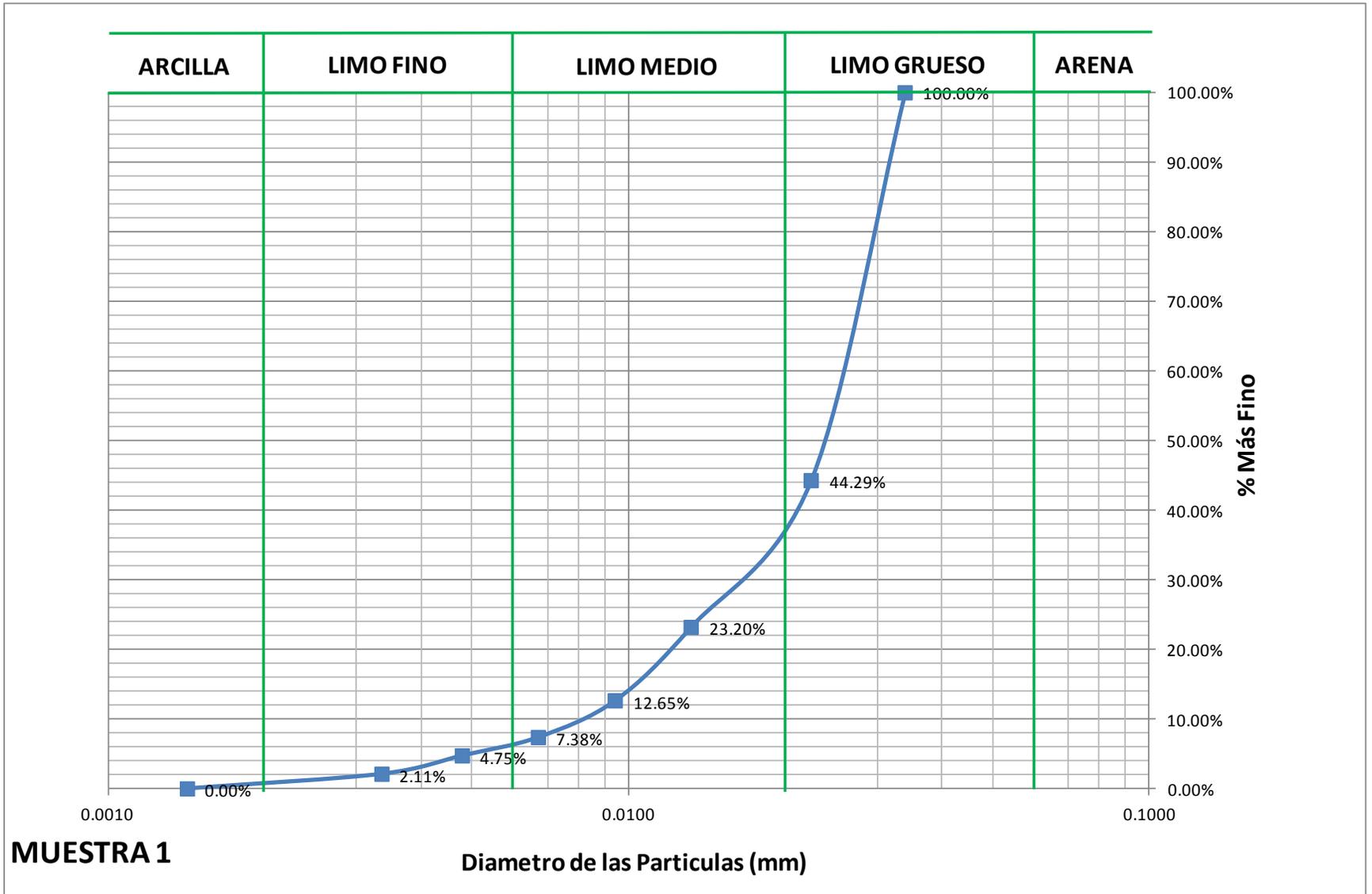
Muestra	2	ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR METODO DE HIDROMETRO												
Fecha	Agosto de 2012													
Localizacion	Muestra lote 2 parcelacion Y arumito													

												REGISTRO DE RESULTADOS - ENSAYO DEL HIDRÓMETRO 151				
TIEMPO TRANSCURRIDO (min)	SUELO			Corrección por temperatura (Ct) Densidad - $g/cm^3 \times 10^{-3}$	Densidad del Agua destilada + Defloculante D(adf)	Densidad del Agua destilada D(ad)	Densidad del Defloculante (t')	Corrección por menisco (Cm) - Hidrometro Tipo 151H (gr/cm^3)	Corrección por defloculante y punto cero (Cd)	Lectura del hidrometro corregida solo por menisco (R)	Lectura del hidrometro corregida (Rc)	Gravedad especifica (Gs) - (gr/cm^3)	Factor de corrección por gravedad especifica α	Peso seco real de las Muestras secada al horno (Wo) - gr	Diametro de las Particulas en (mm) (D)	Cálculo del porcentaje más fino al tamaño "D" o Porcentaje de suelo en suspensión
	HORA	T°C	COMPLETO (R')													
1																
2		25°	1.0160	0.0010	1.003	1.000	0.003	0.0006	0.0030	1.0166	1.0146	2.6300	1.0046	30.60	0.0340	76.98%
5		25°	1.0140	0.0010					0.0030	1.0146	1.0126				0.0224	66.44%
15		25°	1.0120	0.0010					0.0030	1.0126	1.0106				0.0132	55.89%
30		25°	1.0110	0.0010					0.0030	1.0116	1.0096				0.0094	50.62%
60		25°	1.0100	0.0010					0.0030	1.0106	1.0086				0.0067	45.34%
120		25°	1.0090	0.0010					0.0030	1.0096	1.0076				0.0048	40.07%
250		25°	1.0080	0.0010					0.0030	1.0086	1.0066				0.0034	34.80%
1440		25°	1.0070	0.0010					0.0030	1.0076	1.0056				0.0014	29.53%



MUESTRA 2

Diametro de las Particulas (mm)

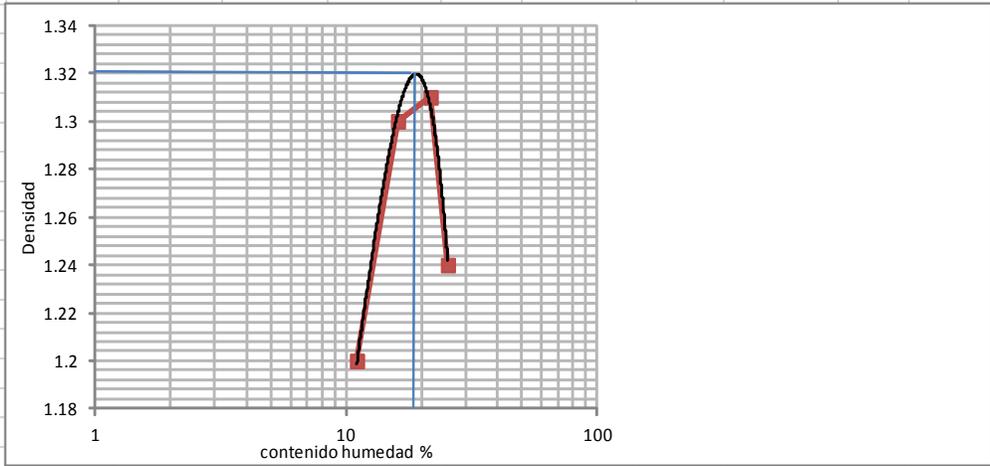


PROCTOR MODIFICADO								
Muestra	1							
Fecha	septiembre de 2012							
Localización	muestra acceso a vereda Yarumito 500 mts de la av. Via Armenia							
CONTENIDO DE HUMEDAD								
AGUA	Peso Recipiente (g)	Peso Recipiente + Sh (g)	Peso Recipiente+Ss (g)	Peso Suelo Humedo (g)	Peso Suelo Seco (g)	%w	Promedio %w	
10%	29.90	80.80	71.40	50.90	45.80	11.14	10.88	
	29.50	85.70	74.20	56.20	50.80	10.63		
	30.20	84.20	75.40	54.00	48.70	10.88		
15%	31.70	89.70	77.30	58.00	49.50	17.17	15.90	
	27.00	82.60	70.40	55.60	48.50	14.64		
	27.90	102.30	86.00	74.40	64.20	15.89		
20%	27.30	83.30	69.10	56.00	46.80	19.66	21.28	
	26.40	88.40	73.40	62.00	50.90	21.81		
	27.70	111.90	90.80	84.20	68.80	22.38		
25%	62.10	180.60	147.50	118.50	93.10	27.28	25.68	
	57.40	223.30	178.80	165.90	132.20	25.49		
	61.60	222.90	179.20	161.30	129.80	24.27		
W Molde (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm3)	W Molde + Suelo H (g)	W Suelo	% w deseada	Peso Unitario Humedo	Gs (g/cm3)
6037	15.11	11.62	2083.65	9009.00	2972	10%	1.43	1.29
6246	15.15	11.66	2101.91	9526.00	3280	15%	1.56	1.35
6074	15.17	11.64	2103.85	9585.00	3511	20%	1.67	1.38
5994	15.18	11.64	2106.62	9490.00	3496	25%	1.66	1.32
				%W optima	20			
				Densidad max.	1.37			

PROCTOR MODIFICADO		
Muestra	2	
Fecha	septiembre de 2012	
Localizacion	muestra acceso a vereda Yarumito 500 mts de la av. Via Armenia	

CONTENIDO DE HUMEDAD							
AGUA	Peso Recipiente (g)	Peso Recipiente + Sh (g)	Peso Recipiente+Ss (g)	Peso Suelo Humedo (g)	Peso Suelo Seco (g)	%w	Promedio %w
10%	29.70	79.80	74.50	50.10	44.80	11.83	11.01
	29.60	86.00	80.40	56.40	50.80	11.02	
	29.80	83.90	78.90	54.10	49.10	10.18	
15%	31.20	89.50	81.70	58.30	50.50	15.45	16.03
	27.30	83.10	75.50	55.80	48.20	15.77	
	27.70	86.60	78.10	58.90	50.40	16.87	
20%	27.10	85.20	74.80	58.10	47.70	21.80	21.62
	26.60	87.10	75.80	60.50	49.20	22.97	
	27.50	84.90	75.30	57.40	47.80	20.08	
25%	28.10	88.60	75.80	60.50	47.70	26.83	25.34
	27.90	90.20	77.40	62.30	49.50	25.86	
	27.80	84.90	74.10	57.10	46.30	23.33	

Peso Molde (g)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm3)	W Molde + Suelo H (g)	W Suelo Humed (g)	% w deseada	Peso Unitario Humedo (g/cm3)	Gs (g/cm3)
6037	15.10	11.64	2084.48	8542.00	2505.00	10%	1.20	1.20
6246	15.11	11.64	2087.24	9174.00	2928.00	15%	1.40	1.26
6074	15.15	11.64	2098.30	9255.00	3181.00	20%	1.52	1.31
5994	15.14	11.64	2095.53	9145.00	3151.00	25%	1.50	1.24



%w opt.	19
Densidad m	1.32



DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO

Localización:

Nº Muestra: 1

Descripción muestra suelo con boñiga al 10%

Fecha Marzo de 2013

LIMITE LIQUIDO

RANGO DE GOLPES	Nº DE GOLPES	PESO CAPSULA (gr)	PESO CAPSULA + MUESTRA (gr)	PESO MUESTRA SIN CAPSULA (gr) (Wm)	PESO SECO CON CAPSULA (gr)	PESO SECO SIN CAPSULA (gr) (Ws)	$W = ((Wm - Ws) / Ws) * 100$
15 A 20	15	39.2	56.2	17	49.1	9.9	71.72%
20 A 30	25	39.3	58.6	19.3	50.7	11.4	69.30%
25 A 35	32	37.2	51.8	14.6	47.4	10.2	43.14%
						LL % =	56%

LIMITE PLASTICO

PRUEBA Nº	PESO CAPSULA (gr)	PESO CAPSULA + MUESTRA (gr)	PESO MUESTRA SIN CAPSULA (gr) (Wm)	PESO SECO CON CAPSULA (gr)	PESO SECO SIN CAPSULA (gr) (Ws)	$W = ((Wm - Ws) / Ws) * 100$	LIMITE PASTICO (%)
1º	37.7	43.7	6	42.1	4.4	0.36	36%
2º	42.1	47	4.9	45.7	3.6	0.36	36%
3º	38.9	44.4	5.5	43	4.1	0.34	34%
						LP%=	36%

IP = INDICE DE PLASTICIDAD

IP=LL-LP

21%

CLASIFICACION DE ACUERDO CON EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Muestra Ensayo de resistencia a la compresion de los adobes iniciales
 Fecha Marzo de 2013

COMPRESION DE SUELO-BOÑIGA 10%

CARGA (KN)	Area (cm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	
15.54	182	15540	85.38	0.85	
23.84		23840	130.99	1.31	
20.91		20910	114.89	1.15	
24.81		24810	136.32	1.36	
20.50		20500	112.64	1.13	
21.00		21000	115.38	1.15	
25.05		25050	137.64	1.38	
23.02		23020	126.48	1.26	
20.70		20700	113.74	1.14	
21.32		21320	117.14	1.17	
21.67		182.00	21669.00	119.06	1.19

COMPRESION DE SUELO-PAJA 5%

CARGA (KN)	Area (cm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	
12.48	182	12480	68.57	0.69	
15.76		15760	86.59	0.87	
17.10		17100	93.96	0.94	
19.02		19020	104.51	1.05	
19.77		19770	108.63	1.09	
19.69		19690	108.19	1.08	
17.99		17990	98.85	0.99	
18.65		18650	102.47	1.02	
18.06		18060	99.23	0.99	
16.38		16380	90.00	0.90	
17.56		182	17557.5	96.47	0.96



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Muestra Ensayo de resistencia a la compresion de los adobes iniciales
 Fecha Marzo de 2013

COMPRESION DE SUELO-PAJA 2%-BOÑIGA 10%

CARGA (KN)	Area (cm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
19.39	182	19390	106.54	1.07
21.04		21040	115.60	1.16
19.54		19540	107.36	1.07
20.81		20810	114.34	1.14
19.46		19460	106.92	1.07
19.18		19180	105.38	1.05
19.53		19530	107.31	1.07
19.49		19490	107.09	1.07
20.17		20170	110.82	1.11
19.59		19590	107.64	1.08
19.82		182	19820	108.90

COMPRESION DE SUELO-PAJA 3%

CARGA (KN)	Area (cm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
15.98	182	15980	87.80	0.88
19.19		19190	105.44	1.05
18.08		18080	99.34	0.99
20.77		20770	114.12	1.14
17.21		17210	94.56	0.95
18.78		18780	103.19	1.03
18.72		18720	102.86	1.03
18.58		18580	102.09	1.02
17.90		17900	98.35	0.98
18.90		18900	103.85	1.04
18.41		182	18413.75	101.17



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Muestra Ensayo de resistencia a la compresion de los adobes iniciales

Fecha Marzo de 2013

COMPRESION DE SUELO-PAJA 2%-BOÑIGA 5%

CARGA (KN)	Area (cm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	
15.75	182	15750	86.54	0.87	
17.09		17090	93.90	0.94	
16.13		16130	88.63	0.89	
15.15		15150	83.24	0.83	
15.39		15390	84.56	0.85	
15.73		15730	86.43	0.86	
14.14		14140	77.69	0.78	
16.03		16030	88.08	0.88	
15.57		15570	85.55	0.86	
15.12		15120	83.08	0.83	
15.68		182	15676.25	86.13	0.86

COMPRESION DE SUELO-BOÑIGA 7,5%

CARGA (KN)	Area (cm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	
10.70	182	10700	58.79	0.59	
14.24		14240	78.24	0.78	
18.10		18100	99.45	0.99	
16.69		16690	91.70	0.92	
17.06		17060	93.74	0.94	
16.40		16400	90.11	0.90	
15.80		15800	86.81	0.87	
16.22		16220	89.12	0.89	
16.10		16100	88.46	0.88	
15.43		15430	84.78	0.85	
15.67		182	15674.0	86.12	0.86



ENSAYO DE ABSORCION DE AGUA

Muestra Ensayo de absorcion de los adobes iniciales

Fecha Marzo de 2013

MUESTRA SUELO-PAJA 3%

Peso seco inicial (kg)	Peso suelo saturado 24H (kg)	Peso seco inicial (g)	Peso suelo saturado 24H (g)	Absorcion de humedad
1.37	Desintegro	1370	-	-
1.32	Desintegro	1320	-	-
1.025	Desintegro	1025	-	-
1.2	1.5	1200	1500	25.000
1.17	1.69	1170	1690	44.444
1.17	Desintegro	1170	-	-
1.36	1.9	1360	1900	39.706
1.09	1.6	1090	1600	46.789
1.23	Desintegro	1230		
1.12	1.42	1120	1420	26.786
1.21	1.62	1205.50	1622.00	36.55

MUESTRA SUELO-PAJA 2%-BOÑIGA 10%

Peso seco inicial (kg)	Peso suelo saturado 24H (kg)	Peso seco inicial (g)	Peso suelo saturado 24H (g)	Absorcion de humedad %
1.15	1.79	1150	1790	55.65
1.11	1.78	1110	1780	60.36
1.16	1.85	1160	1850	59.48
1.03	1.66	1030	1660	61.17
1.29	1.92	1290	1920	48.84
1.06	1.65	1060	1650	55.66
1.12	1.63	1120	1630	45.54
1.16	1.81	1160	1810	56.03
1.11	1.69	1110	1690	52.25
1.26	1.63	1260	1630	29.37
1.15	1.74	1145.00	1741.00	52.43



ENSAYO DE ABSORCION DE AGUA

Muestra	Ensayo de absorcion de los adobes iniciales				
Fecha	Marzo de 2013				
MUESTRA SUELO-BOÑIGA 10%					
	Peso seco inicial (kg)	Peso suelo saturado 24H (kg)	Peso seco inicial (g)	Peso suelo saturado 24H (g)	Absorcion de humedad
	1.23	1.74	1230	1740	41.46
	1.38	1.99	1380	1990	44.20
	1.31	1.83	1310	1830	39.69
	1.27	1.73	1270	1730	36.22
	1.37	1.27	1370	1270	DESINTEGRO
	1.31	1.81	1310	1810	38.17
	1.33	1.7	1330	1700	27.82
	1.25	1.64	1250	1640	31.20
	1.32	1.75	1320	1750	32.58
	1.3	1.5	1300	1500	DESINTEGRO
	1.31	1.70	1307.00	1696.00	36.42
MUESTRA SUELO-PAJA 5%					
	Peso seco inicial (kg)	Peso suelo saturado 24H (kg)	Peso seco inicial (g)	Peso suelo saturado 24H (g)	Absorcion de humedad
	1.31	1.68	1310	1680	28.24
	1.4	1.71	1400	1710	22.14
	1.34	1.85	1340	1850	38.06
	1.38	1.9	1380	1900	37.68
	1.3	1.8	1300	1800	38.46
	1.36	1.85	1360	1850	36.03
	1.55	2.08	1550	2080	34.19
	1.39	1.86	1390	1860	33.81
	1.34	1.86	1340	1860	38.81
	1.31	1.95	1310	1950	48.85
	1.37	1.85	1368.00	1854.00	35.63



ENSAYO DE ABSORCION DE AGUA

Muestra Ensayo de absorcion de los adobes iniciales

Fecha Marzo de 2013

MUESTRA SUELO-PAJA 2%-BOÑIGA 5%

Peso seco inicial (kg)	Peso suelo saturado 24H (kg)	Peso seco inicial (g)	Peso suelo saturado 24H (g)	Absorcion de humedad
1.23	1.9	1230	1900	54.47
1.14	1.78	1140	1780	56.14
1.22	1.82	1220	1820	49.18
1.34	2.07	1340	2070	54.48
1.23	1.84	1230	1840	49.59
1.31	1.1	1310	1100	DESINTEGRO
1.17	1.78	1170	1780	52.14
1.48	2.24	1480	2240	51.35
1.28	1.94	1280	1940	51.56
1.21	1.8	1210	1800	48.76
1.26	1.83	1261.00	1827.00	51.96

MUESTRA SUELO-BOÑIGA 7,5%

Peso seco inicial (kg)	Peso suelo saturado 24H (kg)	Peso seco inicial (g)	Peso suelo saturado 24H (g)	Absorcion de humedad
1.23	DESINTEGRO	1230	-	-
1.16	DESINTEGRO	1160	-	-
1.13	DESINTEGRO	1130	-	-
1.11	DESINTEGRO	1110	-	-
1.09	DESINTEGRO	1090	-	-
1.15	DESINTEGRO	1150	-	-
1.13	DESINTEGRO	1130	-	-
1.15	DESINTEGRO	1150	-	-
1.13	DESINTEGRO	1130	-	-
1.18	DESINTEGRO	1180	-	-
1.15	-	1146.00	-	DESINTEGRO



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Muestra Ensayo de resistencia a la compresion de los adobes finales

Fecha Abril de 2013

COMPRESION DE SUELO-BOÑIGA 10%-CAL 3.5%

CARGA (KN)	Area (cm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
19.88	182	19880	109.23	1.09
18.22		18220	100.11	1.00
18.56		18560	101.98	1.02
17.55		17550	96.43	0.96
20.30		20300	111.54	1.12
18.90		182.00	18902.00	103.86

COMPRESION DE SUELO-PAJA 2%-BOÑIGA 10%-CAL 3.5%

CARGA (KN)	Area (cm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
20.38	182	20380	111.98	1.12
20.57		20570	113.02	1.13
19.27		19270	105.88	1.06
20.09		20090	110.38	1.10
19.92		19920	109.45	1.09
20.05		182	20046	110.14

COMPRESION DE SUELO-PAJA 3%-CAL 2.5%

CARGA (KN)	Area (cm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
19.20	182	19200	105.49	1.05
18.50		18500	101.65	1.02
18.95		18950	104.12	1.04
18.27		18270	100.38	1.00
19.42		19420	106.70	1.07
18.87		182	18868	103.67



ENSAYO DE ABSORCION DE AGUA

Muestra Ensayo de absorcion de los adobes finales estabilizados con cal

Fecha Abril de 2013

MUESTRA SUELO-PAJA 3% - CAL 2.5%

Peso seco inicial (kg)	Peso suelo saturado 24H (kg)	Peso seco inicial (g)	Peso suelo saturado 24H (g)	Absorcion de humedad
1.13	1.87	1130	1870	65.487
1.57	2.07	1570	2070	31.847
1.2	1.58	1200	1580	31.667
1.07	1.51	1070	1510	41.121
1.22	1.56	1220	1560	27.869
1.24	1.72	1238.00	1718.00	39.60

MUESTRA SUELO-PAJA 2%-BOÑIGA 10% -CAL 3.5%

Peso seco inicial (kg)	Peso suelo saturado 24H (kg)	Peso seco inicial (g)	Peso suelo saturado 24H (g)	Absorcion de humedad %
1.39	1.91	1390	1910	37.41
1.47	2.05	1470	2050	39.46
1.3	1.9	1300	1900	46.15
1.33	1.84	1330	1840	38.35
1.34	1.91	1340	1910	42.54
1.37	1.92	1366.00	1922.00	40.78

MUESTRA SUELO-BOÑIGA 10% -CAL 3.5%

Peso seco inicial (kg)	Peso suelo saturado 24H (kg)	Peso seco inicial (g)	Peso suelo saturado 24H (g)	Absorcion de humedad %
1.13	1.87	1130	1870	65.49
1.57	2.07	1570	2070	31.85
1.2	1.58	1200	1580	31.67
1.07	1.51	1070	1510	41.12
1.15	1.56	1150	1560	35.65
1.22	1.72	1224.00	1718.00	41.15



ANALISIS DE PRECIO ADOBES

Analisis de precio para la elaboracion de cada adobe iniciales

Fecha abril de 2013

TRATAMIENTO 1

			unidad		Valor und	Material	Mano de obra	Vr total/ adobe
SUELO	85.0%	0.0035	m3	Excavacion	\$ 3,896.0		\$ 13.7	
ARENA	10.0%	0.0003	m3	m3 de arena	\$ 60,000.0	\$ 18.95		
PAJA	5.0%	0.22	Kg	paja	\$ 150.0	\$ 33.00		
AGUA	103.0%	4.68	Lts	litro de agua	\$ 4.0	\$ 18.72		
						\$ 70.67	\$ 13.7	\$ 84.36

TRATAMIENTO 2

			unidad		Valor und	Material	Mano de obra	Vr total/ adobe
SUELO	87.0%	0.0036	m3	Excavacion	\$ 3,896.0		\$ 14.0	
ARENA	10.0%	0.0003	m3	m3 de arena	\$ 60,000.0	\$ 18.95		
PAJA	3.0%	0.22	Kg	paja	\$ 150.0	\$ 33.00		
AGUA	105.0%	4.68	Lts	litro de agua	\$ 4.0	\$ 18.72		
						\$ 70.67	\$ 14.0	\$ 84.68

TRATAMIENTO 3

			unidad		Valor und	Material	Mano de obra	Vr total/ adobe
SUELO	80.0%	0.0033	m3	Excavacion	\$ 3,896.0		\$ 12.9	
ARENA	10.0%	0.0003	m3	m3 de arena	\$ 60,000.0	\$ 18.95		
BOÑIGA	10.0%	0.4547	Kg	Boñiga	\$ 200.0		\$ 90.9	
AGUA	87.0%	3.96	Lts	litro de agua	\$ 4.0	\$ 15.82		
						\$ 34.77	\$ 103.8	\$ 138.60



ANALISIS DE PRECIO ADOBES

Analisis de precio para la elaboracion de cada adobe iniciales

Fecha abril de 2013

TRATAMIENTO 5

			unidad		Valor und	Material	Mano de obra	Vr total/ adobe
SUELO	83.0%	0.0034	m3	Excavacion	\$ 3,896.0		\$ 13.4	
ARENA	10.0%	0.0003	m3	m3 de arena	\$ 60,000.0	\$ 18.95		
PAJA	2.0%	0.0909	Kg	Paja	\$ 150.0	\$ 13.64		
BOÑIGA	5.0%	0.2274	Kg	Boñiga	\$ 200.0		\$ 45.5	
AGUA	104.0%	4.73	Lt	litro de agua	\$ 4.0	\$ 18.92		
						\$ 51.51	\$ 58.8	\$ 110.35

TRATAMIENTO 4

			unidad		Valor und	Material	Mano de obra	Vr total/ adobe
SUELO	82.5%	0.0034	m3	Excavacion	\$ 3,896.0		\$ 13.3	
ARENA	10.0%	0.0003	m3	m3 de arena	\$ 60,000.0	\$ 18.95		
BOÑIGA	7.5%	0.341	Kg	Boñiga	\$ 200.0		\$ 68.2	
AGUA	89.0%	4.05	Lts	litro de agua	\$ 4.0	\$ 16.19		
						\$ 35.13	\$ 81.5	\$ 116.63

TRATAMIENTO 6

			unidad		Valor und	Material	Mano de obra	Vr total/ adobe
SUELO	78.0%	0.0032	m3	Excavacion	\$ 3,896.0		\$ 12.6	
ARENA	10.0%	0.0003	m3	m3 de arena	\$ 60,000.0	\$ 18.95		
PAJA	2.0%	0.0909	Kg	Paja	\$ 150.0	\$ 13.64		
BOÑIGA	10.0%	0.4547	Kg	Boñiga	\$ 200.0		\$ 90.9	
AGUA	106.0%	4.73	Lt	litro de agua	\$ 4.0	\$ 18.92		
						\$ 51.51	\$ 103.5	\$ 155.01



ANALISIS DE PRECIO ADOBES

Analisis de precio para la elaboracion de cada adobe finales integrado con cal
 Fecha abril de 2013

TRATAMIENTO 3i

			unidad		Valor und	Material	Mano de obra	Vr total/ adobe
SUELO	80.0%	0.003	m3	Excavacion	\$ 3,896.0		\$ 12.88	
ARENA	10.0%	0.000	m3	m3 de arena	\$ 60,000.0	\$ 18.95		
BOÑIGA	10.0%	0.455	Kg	Boñiga	\$ 200.0		\$ 90.94	
AGUA	87.0%	3.870	Lts	litro de agua	\$ 4.0	\$ 15.48		
CAL	3.5%	0.159	Kg	Kg cal	\$ 350.0	\$ 55.65		
						\$ 90.08	\$ 103.8	\$ 193.90

TRATAMIENTO 2i

			unidad		Valor und	Material	Mano de obra	Vr total/ adobe
SUELO	87.0%	0.004	m3	Excavacion	\$ 3,896.0		\$ 14.01	
ARENA	10.0%	0.000	m3	m3 de arena	\$ 60,000.0	\$ 18.95		
PAJA	3.0%	0.220	Kg	paja	\$ 150.0	\$ 33.00		
AGUA	86.0%	3.940	Lts	litro de agua	\$ 4.0	\$ 15.76		
CAL	2.5%	0.114	Kg	Kg cal	\$ 350.0	\$ 39.90		
						\$ 107.6	\$ 14.01	\$ 121.62

TRATAMIENTO 6i

			unidad		Valor und	Material	Mano de obra	Vr total/ adobe
SUELO	78.0%	0.003	m3	Excavacion	\$ 3,896.0		\$ 12.56	
ARENA	10.0%	0.000	m3	m3 de arena	\$ 60,000.0	\$ 18.95		
PAJA	2.0%	0.091	Kg	Paja	\$ 150.0	\$ 13.64		
BOÑIGA	10.0%	0.455	Kg	Boñiga	\$ 200.0		\$ 90.94	
AGUA	94.0%	4.270	Lt	litro de agua	\$ 4.0	\$ 17.08		
CAL	3.5%	0.159	Kg	Kg de cal	\$ 350.0	\$ 55.65		
						\$ 105.3	\$ 103.5	\$ 208.82