



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

INFLUENCIA DE TAMAÑO, PORCENTAJE Y TIPO DE FIBRA NATURAL EN ADOBES ESTABILIZADOS SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, CONTRACCIÓN Y DURABILIDAD EN CONSTRUCCIONES RURALES, TRUJILLO 2019

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Breyner Gyufeppe Rodriguez Elias

Asesor:

Ing. Ivan Eugenio Vasquez Alfaro

Trujillo - Perú

2019

## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios, por ser el inspirador, por darme salud y fuerzas todos los días para continuar este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mi familia que en todo momento siempre estuvo a mi lado, apoyándome incondicionalmente en este proceso de formación académica.

A todas las personas que me han apoyado, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas, y lograron que este sueño se haga realidad.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por darme salud durante todo mi camino y fuerzas para superar todos los obstáculos, haciéndome posible culminar mi vida universitaria con éxito.

A mis padres, Susana y Ramon, por su amor, trabajo, sacrificio y por todo el apoyo incondicional en cada uno de mis metas, gracias por haberme dado los valores que hoy definen mi vida.

A mi hermano Jean Pierre, por siempre estar pendiente de mí, apoyándome en todas mis decisiones, y sobre todo por demostrarme que siempre puedo contar con él.

A mis abuelas, por enseñarme los primeros pasos, por cuidarme cuando era niño, por estar siempre a mi lado.

A mi familia, que siempre está dándome las mejores vibras, por todo el apoyo en cada decisión y proyecto.

Al ingeniero Iván Vásquez Alfaro, quien ha sido una pieza fundamental para la culminación de esta investigación. Gracias por su paciencia, conocimientos brindados y por la motivación durante el desarrollo de la tesis y sobre todo por su amistad.

Agradezco al grupo de investigación ACIMAT, el cual fue partícipe en este camino, por abrirme las puertas y confiar en mi persona, por todo el tiempo y conocimientos durante este periodo, gracias por todo su apoyo.

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| DEDICATORIA .....   | 2         |
| AGRADECIMIENTO.....   | 3         |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | 6         |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | 8         |
| RESUMEN.....  | 9         |
| <b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>   | <b>10</b> |
| 1.1. Realidad problemática.....                                       | 10        |
| 1.1.1. Antecedentes .....   | 15        |
| 1.1.2. Bases teóricas .....   | 18        |
| 1.2. Formulación del problema .....                                   | 35        |
| 1.3. Objetivos .....  | 35        |
| 1.3.1. Objetivo general .....   | 35        |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....                                    | 35        |
| 1.4. Hipótesis.....   | 36        |
| 1.4.1. Hipótesis general.....   | 36        |
| 1.4.2. Hipótesis específicas .....                                    | 36        |
| <b>II. METODOLOGÍA .....</b>  | <b>37</b> |
| 2.1. Tipo de investigación .....                                      | 37        |
| 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....    | 37        |
| 2.2.1. Unidad de estudio.....   | 37        |
| 2.2.2. Población.....   | 37        |
| 2.2.3. Muestra.....   | 37        |
| 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos ..... | 40        |
| 2.3.1. Técnica de recolección de datos.....                           | 40        |
| 2.3.2. Instrumento de recolección de datos .....                      | 40        |
| 2.4. Procedimiento de recolección de datos .....                      | 41        |
| 2.4.1. Caracterización de la materia prima.....                       | 42        |
| 2.4.2. Dosificación, curado y preparación.....                        | 53        |
| 2.4.3. Ensayos mecánicos.....   | 53        |
| 2.4.4. Ensayo físico .....  | 54        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.4.5. Métodos y procedimientos de análisis de datos .....                       | 56        |
| <b>III. RESULTADOS</b> .....   | <b>67</b> |
| 3.1. Caracterización de materia prima.....                                       | 67        |
| 3.1.1. Caracterización del suelo fino, arena gruesa y cal .....                  | 67        |
| 3.1.2. Fibras naturales .....  | 70        |
| 3.2. Diseño de mezcla .....  | 70        |
| 3.3. Contracción .....   | 71        |
| 3.4. Durabilidad.....  | 72        |
| 3.5. Resistencia a compresión .....  | 73        |
| 3.6. Evaluación económica.....   | 74        |
| 3.6.1. Elaboración de un adobe estabilizado con fibra de cabuya .....            | 74        |
| 3.6.2. Elaboración de un adobe estabilizado con fibra de paja de trigo .....     | 74        |
| 3.6.3. Elaboración de un muro de m <sup>2</sup> con fibra de cabuya.....         | 75        |
| 3.6.4. Elaboración de un muro de m <sup>2</sup> con fibra de paja de trigo ..... | 75        |
| <b>IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....  | <b>76</b> |
| 4.1. Discusión.....  | 76        |
| 4.1.1. Caracterización de la materia prima .....                                 | 76        |
| 4.1.2. Diseño de mezcla .....  | 79        |
| 4.1.3. Resistencia a compresión .....  | 80        |
| 4.1.4. Durabilidad.....  | 82        |
| 4.1.5. Contracción o retracción .....  | 83        |
| 4.1.6. Análisis económico .....  | 85        |
| 4.1.7. Análisis estadístico.....   | 85        |
| 4.2. Conclusiones .....  | 87        |
| REFERENCIAS .....  | 89        |
| ANEXOS.....  | 94        |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Composición química de la fibra.....   | 31 |
| Tabla 2: Densidades y porosidad de diferentes tipos de fibras de paja .....   | 32 |
| Tabla 3: Variables de estudio de investigación .....  | 37 |
| Tabla 4: Matriz de diseño experimental de las variables independientes.....   | 39 |
| Tabla 5: Masa mínima recomendada para ensayo de humedad – MTC E 108 .....   | 42 |
| Tabla 6: Plantilla de cálculo del ensayo de humedad .....   | 43 |
| Tabla 7: Plantilla de datos para granulometría por tamizado .....   | 44 |
| Tabla 8: Plantilla de datos de límite líquido .....   | 47 |
| Tabla 9: Plantilla de datos de límite plástico .....  | 48 |
| Tabla 10: Plantilla de datos de la materia orgánica .....   | 48 |
| Tabla 11: Clasificación de suelo de acuerdo a su materia orgánica .....   | 48 |
| Tabla 13: Clasificación de suelos de acuerdo a su gravedad específica .....   | 51 |
| Tabla 12: Valores de K de la temperatura para gravedad específica. (ASTM D422).....                                     | 51 |
| Tabla 14: Categorías de los diferentes pH de Suelos. (U.S.D.A.).....  | 52 |
| Tabla 15: Clasificación de suelos de acuerdo a su conductividad.....  | 52 |
| Tabla 16: Plantilla de datos para la resistencia a la compresión .....  | 54 |
| Tabla 17: Plantilla de datos para el ensayo de contracción .....  | 55 |
| Tabla 18: Plantilla de datos para el ensayo de durabilidad.....   | 56 |
| Tabla 19: Caracterización física y química del suelo fino.....  | 67 |
| Tabla 20: Caracterización física y química de la arena gruesa.....  | 67 |
| Tabla 21: Caracterización física y química de la cal .....  | 68 |
| Tabla 22: Media, varianza, desviación para granulometría del suelo fino .....   | 68 |
| Tabla 23: Media, varianza, desviación para la caracterización del suelo fino .....                                      | 68 |
| Tabla 24: Clasificación del suelo fino por el método SUCS.....  | 69 |
| Tabla 25: Media, varianza, desviación para granulometría de la arena gruesa .....                                       | 69 |
| Tabla 26: Media, varianza, desviación para la caracterización de la arena gruesa .....                                  | 69 |
| Tabla 27: Media, varianza, desviación para el análisis granulométrico de la cal.....                                    | 69 |
| Tabla 28: Media, varianza, desviación para la caracterización de la cal .....   | 70 |
| Tabla 29: Caracterización química de la fibra natural.....  | 70 |
| Tabla 30: Diseño de mezcla para cada ensayo .....   | 70 |
| Tabla 31: Media, varianza, desviación para los datos de contracción.....  | 71 |
| Tabla 32: Media, varianza, desviación para los datos de durabilidad .....   | 72 |
| Tabla 33: Media, varianza, desviación para los datos de resistencia a compresión .....                                  | 73 |
| Tabla 34: Análisis de costo de un adobe estabilizado agregando cabuya .....   | 74 |
| Tabla 35: Análisis de costo de un adobe estabilizado agregando paja de trigo.....                                       | 74 |
| Tabla 36: Análisis de costo de un muro de soga de un m <sup>2</sup> agregando cabuya .....                              | 75 |
| Tabla 37: Análisis de costo de un muro de soga de un m <sup>2</sup> agregando paja de trigo .....                       | 75 |
| Tabla 38: Relación del F <sub>Experimental</sub> con el F <sub>Teórico</sub> de la variable resistencia a compresión .. | 86 |
| Tabla 39: Relación del F <sub>Experimental</sub> con el F <sub>Teórico</sub> de la variable contracción.....            | 86 |
| Tabla 40: Relación del F <sub>Experimental</sub> con el F <sub>Teórico</sub> de la variable durabilidad .....           | 86 |
| Tabla 41: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra A .....                                       | 94 |
| Tabla 42: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra B .....                                       | 94 |
| Tabla 43: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra C .....                                       | 94 |
| Tabla 44: Contenido de humedad del suelo fino (arcilla - limo).....   | 95 |
| Tabla 45: Contenido de materia orgánica del suelo fino (arcilla - limo).....  | 95 |
| Tabla 46: Límite líquido del suelo fino (arcilla – limo) muestra A.....   | 95 |
| Tabla 47: Límite líquido del suelo fino (arcilla – limo) muestra B .....  | 96 |
| Tabla 48: Límite líquido del suelo fino (arcilla – limo) muestra C.....   | 96 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 49: Límite plástico del suelo fino (arcilla – limo) .....  | 97  |
| Tabla 50: Gravedad específica del suelo fino (arcilla – limo).....   | 97  |
| Tabla 51: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra A .....  | 97  |
| Tabla 52: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra B .....  | 98  |
| Tabla 53: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra C .....  | 98  |
| Tabla 54: Contenido de humedad de la arena gruesa .....  | 98  |
| Tabla 55: Peso específico y absorción de la arena gruesa.....  | 99  |
| Tabla 56: Análisis granulométrico de la cal muestra A .....  | 100 |
| Tabla 57: Análisis granulométrico de la cal muestra B.....   | 100 |
| Tabla 58: Análisis granulométrico de la cal muestra C.....   | 100 |
| Tabla 59: Contenido de humedad de la cal .....   | 101 |
| Tabla 60: Gravedad específica de la cal .....  | 101 |
| Tabla 61: Resistencia a compresión de probetas mezcladas con fibra de cabuya .....   | 102 |
| Tabla 62: Resistencia a compresión de probetas mezcladas con fibra de paja de trigo ....   | 103 |
| Tabla 63: Contracción de probetas mezcladas con fibra de cabuya .....  | 104 |
| Tabla 64: Contracción de probetas mezcladas con fibra de paja de trigo.....  | 105 |
| Tabla 65: Durabilidad de probetas mezcladas con fibra de cabuya.....   | 106 |
| Tabla 66: Durabilidad de probetas mezcladas con fibra de paja de trigo .....   | 107 |
| Tabla 67: Cantidad por una probeta de 50 x 50 x 50 mm .....  | 108 |
| Tabla 68: Volumen y peso para el material de un molde de 23 x 12 x 9 cm .....  | 109 |
| Tabla 69: Volumen y peso para el material de un muro de 1 m <sup>2</sup> .....   | 110 |
| Tabla 70: Puntos porcentuales de la distribución F <sub>0.05,v1,v2</sub> .....   | 112 |
| Tabla 71: Estimación de Y para los datos de compresión (kg/cm <sup>2</sup> ).....  | 113 |
| Tabla 72: Estimación de Y <sub>k</sub> , Y <sub>j</sub> y Y <sub>i</sub> para los datos de compresión (kg/cm <sup>2</sup> )..... | 113 |
| Tabla 73: Estimación de Y <sub>i</sub> y Y <sub>k</sub> para los datos de compresión (kg/cm <sup>2</sup> ).....                  | 114 |
| Tabla 74: Estimación de Y <sub>j</sub> y Y <sub>k</sub> para los datos de compresión (kg/cm <sup>2</sup> ).....                  | 114 |
| Tabla 75: Estimación de Y <sub>i</sub> y Y <sub>j</sub> para los datos de compresión (kg/cm <sup>2</sup> ).....                  | 114 |
| Tabla 76: Resumen del análisis ANAVA para la resistencia a la compresión.....  | 119 |
| Tabla 77: Estimación de Y para los datos de contratación (%).....  | 120 |
| Tabla 78: Estimación de Y <sub>k</sub> , Y <sub>j</sub> y Y <sub>i</sub> para los datos de contracción (%).....                  | 120 |
| Tabla 79: Estimación de Y <sub>i</sub> y Y <sub>k</sub> para los datos de contracción (%).....                                   | 120 |
| Tabla 80: Estimación de Y <sub>j</sub> y Y <sub>k</sub> para los datos de contracción (%).....                                   | 120 |
| Tabla 81: Estimación de Y <sub>i</sub> y Y <sub>j</sub> para los datos de contracción (%).....                                   | 120 |
| Tabla 82: Resumen del análisis ANAVA para la contracción .....   | 121 |
| Tabla 83: Estimación de Y para los datos de durabilidad (%) .....  | 121 |
| Tabla 84: Estimación de Y <sub>k</sub> , Y <sub>j</sub> y Y <sub>i</sub> para los datos de durabilidad (%) .....                 | 121 |
| Tabla 85: Estimación de Y <sub>i</sub> y Y <sub>k</sub> para los datos de durabilidad (%) .....                                  | 122 |
| Tabla 86: Estimación de Y <sub>j</sub> y Y <sub>k</sub> para los datos de durabilidad (%) .....                                  | 122 |
| Tabla 87: Estimación de Y <sub>i</sub> y Y <sub>j</sub> para los datos de durabilidad (%) .....                                  | 122 |
| Tabla 88: Resumen del análisis ANAVA para la durabilidad.....  | 122 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1: Muro de adobe con implementación de fibras naturales.....                           | 10  |
| Figura 2: Diferentes tipos de fabricación en un adobe artesanal y un ladrillo industrial .... | 11  |
| Figura 3: Conformación de adobe con fibras naturales.....                                     | 11  |
| Figura 4: Diferentes estados de saturación del agregado .....                                 | 22  |
| Figura 5: Procesamiento industrializado de la cal .....                                       | 26  |
| Figura 6: Fibras naturales clasificadas según su origen .....                                 | 28  |
| Figura 7: Tamaños, formas, distribución y orientación de una fibra.....                       | 29  |
| Figura 8: Deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo .....        | 29  |
| Figura 9: Representaciones esquemáticas reforzados con fibras.....                            | 30  |
| Figura 10: Planta de cabuya también llamada fique.....  | 31  |
| Figura 11: Capacidad de absorción con respecto al tiempo a diferentes temperaturas .....      | 32  |
| Figura 12: Paja de trigo .....  | 33  |
| Figura 13: Probetas para compresión y durabilidad .....                                       | 38  |
| Figura 14: Probeta para la contracción volumétrica.....                                       | 38  |
| Figura 15: Diagrama del proceso de investigación .....  | 41  |
| Figura 16: Carta de plasticidad para clasificación de suelos SUCS .....                       | 45  |
| Figura 17: Relación entre el porcentaje y el número de golpes.....                            | 46  |
| Figura 18: Ingreso de datos en el SPSS.....   | 57  |
| Figura 19: Valores para los tamaños de fibra .....  | 57  |
| Figura 20: Valores para los tipos de fibra .....  | 57  |
| Figura 21: Valores para los porcentajes de fibra .....  | 58  |
| Figura 22: Ingreso de valores en vista de datos.....  | 58  |
| Figura 23: Pasos a seguir para realizar una prueba de normalidad .....                        | 59  |
| Figura 24: Proceso para analizar una variable dependiente .....                               | 59  |
| Figura 25: Resultado de la significancia de la variable en relación al tamaño.....            | 60  |
| Figura 26: Resultado de la significancia de la variable en relación al tipo .....             | 60  |
| Figura 27: Resultado de la significancia de la variable en relación al porcentaje.....        | 60  |
| Figura 28: Curva granulométrico del suelo, arena y cal.....                                   | 76  |
| Figura 29: Resistencia a compresión de probetas con fibras naturales .....                    | 80  |
| Figura 30: Resistencia a compresión con los mejores resultados por fibra natural.....         | 80  |
| Figura 31: Durabilidad de probetas con fibras natural .....                                   | 82  |
| Figura 32: Durabilidad con los mejores resultados por fibra natural .....                     | 82  |
| Figura 33: Contracción de probetas con fibras naturales .....                                 | 83  |
| Figura 34: Contracción con los mejores resultados por fibras naturales.....                   | 84  |
| Figura 35: Porcentaje de humedad sobre el número de goles muestra A.....                      | 95  |
| Figura 36: Porcentaje de humedad sobre el número de goles muestra B .....                     | 96  |
| Figura 37: Porcentaje de humedad sobre el número de goles muestra C .....                     | 96  |
| Figura 38: Maquina de ensayos universal CONTROLS: Ensayo de compresión.....                   | 123 |
| Figura 39: Probeta con fibra natural ensaya a compresión.....                                 | 123 |
| Figura 40: Conformación de probetas cilíndricas para el ensayo de contracción .....           | 123 |
| Figura 41: Probetas sumergidas en agua durante 2 días.....                                    | 123 |
| Figura 42: Ensayo granulométrico de la materia prima (suelos finos, arena gruesa y cal).....  | 123 |
| Figura 43: Ensayo de materia orgánica a una temperatura de 450°C.....                         | 123 |
| Figura 44: Ensayo de porcentaje de humedad a una temperatura de 110°C .....                   | 123 |
| Figura 45: Llenado del cono por 3 capas, ensayo del peso específico .....                     | 123 |
| Figura 46: Análisis químicos con la maquina multiparámetro HW Kessel .....                    | 123 |
| Figura 47: Extracción del aire de la muestra para el ensayo de gravedad específica.....       | 123 |

## RESUMEN

La presente investigación fue realizada en la ciudad de Trujillo, en los laboratorios de la Universidad Privada del Norte y Universidad Nacional de Trujillo, donde se determinó la influencia de tamaño, porcentaje y tipo de fibra natural en adobes estabilizados sobre la compresión, contracción y durabilidad; con el objetivo de poder brindar un adobe reforzado con fibras naturales como material constructivo. En Trujillo uno de los materiales más usados en la construcción es el adobe, principalmente en zonas rurales; en los últimos tiempos se han producido fenómenos naturales demostrando que no tiene una buena respuesta, ocasionando colapsos, desprendimiento del material, fallas en los muros y hasta pérdidas humanas, por no tener la suficiente resistencia a compresión, y a la vez, por no tener una buena durabilidad antes agentes externos.

Para el desarrollo de la tesis se utilizó una dosificación de 1:3 con respecto a suelo fino (arcilla-limo) y arena gruesa, es decir, 25% de suelo fino (arcilla-limo) y 75% de arena gruesa. Se adiciono cal como estabilizante del adobe con un 5%. Se reforzó con fibras de cabuya y paja de trigo, en porcentajes de 0%, 0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2% con diferentes tamaños de longitud 15 mm, 30 mm y 45 mm.

Los resultados con respecto resistencia a compresión, la fibra de cabuya con 1.2% con un tamaño de 45 mm consiguió ser la más alta con una resistencia de  $35.8 \text{ kg/cm}^2$  y la de menor resistencia fue la de paja de trigo con un 0.3% con un tamaño de 15 mm llegando a  $5.3 \text{ kg/cm}^2$ . La fibra de paja de trigo obtuvo los mejores resultados con la durabilidad y contracción con el de 1.2 % con un tamaño de 45 mm con respecto a la durabilidad obtuvo una pérdida de masa de 1.37% y con la contracción 1.22% de perdida de volumen. Los resultados más desfavorables de la durabilidad y la contracción fueron con el 0% de fibra natural, consiguiendo un 5.77% y 8.46% respectivamente. Teniendo en cuenta los costos, el adobe con fibra de paja de trigo es más económico que de la cabuya, con un costo de S/1.15. En comparación con un adobe convencional su costo es más elevado, pero considerando sus propiedades, es mucho más rentable los adobes con fibra natural.

Finalmente se ha puesto de manifiesto que la adición de fibra de cabuya y paja de trigo mejora la resistencia a compresión, durabilidad y contracción de un adobe teniendo en cuenta su porcentaje y tamaño adecuado.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Entre los materiales constructivos más antiguos empleados por el hombre se encuentra la tierra cruda, la versión más popular, el adobe. La construcción con este material, además de ser sencillamente económica elaborado con arena, arcilla y agua, al que se le añade en algunas ocasiones estabilizantes o fibras, presenta otras ventajas que la hacen atractiva para lograr viviendas ambientalmente responsables. Se trata este de un material que se ha usado desde hace milenios, en diversas partes del mundo donde se daban las condiciones para ello. Aún hoy en día es ampliamente usada en muchas partes del mundo. (Casado, 2011)



Figura 1: Muro de adobe con implementación de fibras naturales (Espinosa ,2019)

En casi todos los climas cálido-secos y templado del mundo, la tierra ha sido uno de los materiales de construcción predominante. La tierra es el material de construcción natural más importante y abundante en muchas de las regiones del mundo. En los países industrializados, la excesiva explotación de los recursos naturales y los sistemas de producción centralizados intensivos en capital y energía no solo generan desperdicios, sino que contaminan el medio ambiente. En esos países la tierra ha reaparecido como material de construcción. Crecientemente las personas que construyen sus viviendas, buscan edificaciones eficientes, económicas y energéticas, dando mayor valor a la salud y al clima interior balanceado. Se averiguado que la tierra como material de construcción natural tiene mejores cualidades que la materia industrial como el hormigón, los ladrillos y los silicocalcáreos. (Minke,2008)



Figura 2: Diferentes tipos de fabricación en un adobe artesanal y un ladrillo industrial

El prehispánico agregaban a dichos materiales una serie de compuestos de origen litológico e incluso orgánico, denominados antiplásticos o desgrasantes. Con estos productos alteraban, controlaba y estabilizaba diferentes propiedades inherentes al material. Entre otras, se distinguen la plasticidad, adhesividad, compactación, espacio poroso y fundente, (Rivera-Torres y Muñoz-Díaz, 2005). Las personas del hoy no tienen claro las características específicas del adobe, como son: composición cuantitativa de la pasta, tipos de materias orgánicas adicionadas, tipos de suelos o sedimentos utilizados para su elaboración, técnica constructivas y tecnología específica de elaboración. (Gama et al., 2012)

Los procesos constructivos de viviendas crean actividades con impactos negativos hacia el medio ambiente, tanto por los materiales que se emplean como por los procesos mismos. El adobe es un material regional, usado para la construcción de muros en viviendas, y cuyo proceso de fabricación es accesible con el medio ambiente, sin embargo, su uso ha ido decreciendo, debido a su mal comportamiento ante sismos e inundaciones, por lo que los reglamentos de construcción no le confieren valor estructural alguno. Es por eso la importancia de renovar las técnicas y mejorar los materiales sin que pierdan sus propiedades naturales. (Morales, Ortiz & Alavez, 2007)



Figura 3: Conformación de adobe con fibras naturales

Las propiedades de la arquitectura en adobe son: resistencia térmica, mecánica, aislamiento acústico y resistencia al fuego. Si a estas propiedades mezclamos el bajo costo de los materiales y los limitados conocimientos que se necesitan tanto para su fabricación como para la posterior edificación, entenderemos por qué el adobe ha sido el material de construcción más usado a lo largo de la historia. Hace unas décadas, cuando se mostraron nuevos materiales de construcción industriales, con una mejora a la resistencia sísmica y mejores cualidades para la edificación; aun así, se estima que un 30% de la población mundial vive en construcciones de tierra. Aproximadamente el 50% de la población de los países en desarrollo, incluyendo la población rural y por lo menos el 20% de la población urbana y urbano marginal, viven en casas de tierra. Pese a todo, en los últimos tiempos estamos observando cómo en los países más desarrollados se está recuperando la construcción con este tipo de material, en especial dentro de aquellas sociedades o grupos más conscientes sobre la preservación del medio ambiente. Nuevas maneras de mejorar sus puntos débiles: resistencia sísmica y fragilidad ante lluvias, inundaciones y humedad, están recuperando el atractivo de esta tecnología constructiva por su simpleza, bajo costo, y excelentes propiedades térmicas y acústicas. Muestra de ello es el experimento realizado en la Universidad Católica de Lima, donde se construyó una bóveda de adobe simulando un sismo de 30 segundos de duración, con una oscilación muy intensa y la estructura resistió el envite sin problemas. (Rodríguez, 2019)

Perú es un país altamente sísmico, por tal motivo es importante tener en cuenta la Norma Técnica Peruana E.030 que tiene como finalidad que los diseños sismo resistente eviten que las estructuras colapsen, causen daños graves a las personas debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en el sitio, y que la estructura soporte movimientos sísmicos moderados que pueda ocurrir en su vida de servicio, experimentado posibles daños dentro de sus límites aceptables.

Se sabe que las construcciones con este material es unos de los predominantes en el Perú, ya que es un material económico y fácil de adquirir. Las viviendas en el Perú tienen un 23.27% de paredes hechas de adobe, en el departamento de la libertad tienen un 45.98 %, en la provincia de Trujillo tienen un 28.17%. La provincia de Trujillo tiene zonas en las que más del 30% están hechas de paredes de adobe (El Porvenir, Florencia de Mora, Huanchaco, La Esperanza, Laredo, Moche, Poroto, Simbal). Los

distritos como Trujillo y Victor Larco su material predominante es el ladrillo o bloques de cemento. (Instituto nacional de estadística e informática, 2017)

Según la Norma Técnica Peruana del adobe E.080\_2017, nos indica que este es una unidad de tierra cruda, que puede estar mezclado con paja o arena para optimizar su resistencia y durabilidad. El adobe es uno de los materiales más usado en nuestro país, por ser económica y autoconstruidas. Actualmente los materiales de construcción tienen un alto precio, donde un alto porcentaje de la población no tiene los recursos para poder adquirirlos, es por tal motivo que la mejor opción es el adobe.

Nuestro país afrontó un fenómeno, que fue uno de los más devastadores en las últimas décadas. A los inicios del año 2017, en el periodo de lluvias, se produjo el fenómeno del niño costero, fue creado por el calentamiento anómalo del mar debido al debilitamiento de las corrientes de aire frías que recorren de sur a norte las costas del pacífico sur, dicho fenómeno suele crearse en el verano sudamericano según el Dr. Dimitri Gutiérrez Aguilar, vocero oficial de estudio Nacional de Fenómeno del Niño, desde el 01 de noviembre del 2016 hasta junio del 2017. El fenómeno del Niño trajo consigo 2956 precipitaciones lluvias, 426 huaicos, 293 inundaciones, 231 deslizamientos entre otros. Debido a los desastres naturales que ocurrieron a lo largo de la costa peruana se reportó 372,020 afectados, 38,728 viviendas colapsadas y 27,365 viviendas inhabitables. Con respecto a los locales públicos los cuales también fueron afectados como: institucionales educativas (113 colapsadas, 241 inhabilitadas y 3,226 afectadas), establecimientos de salud (30 colapsadas, 34 inhabilitadas y 1,044 afectadas). Siendo estos números muy significativas. (Instituto nacional de estadística e informática, 2017)

Según la norma técnica E.080\_2017 indica que el adobe como unidad debe resistir un mínimo de  $10.2 \text{ Kg/cm}^2$  para ser considerado como tal. En la ciudad de Trujillo, se realizó el ensayo de compresión, a diferentes adobes, se escogió 4 por cada lugar (La Esperanza, Laredo, San Isidro, Simbal y Virú) y ninguno llegó a cumplir con la resistencia mínima con la que establece la norma. (Llacza,2018)

Por ello esta investigación, plantea la utilización de fibras naturales para un adobe estabilizado con cal, para sí, optimizar su resistencia a compresión, tracción y durabilidad. En esta tesis se designó utilizar fibras naturales (cabuya y paja de trigo),

contribuyendo a la reutilización de estos residuos, consecuentemente esto trae consigo minimizar el impacto ambiental.

El adobe en la actualidad ha generado un interés en los profesionales afines constructivos, ya que son: bajo costo económico en la fabricación y gran disponibilidad; alto ahorro de energía, haciendo uso principalmente de energías renovables; gran trabajabilidad y propiedades óptimas en la construcción; fácil integración al ecosistema local, empleando los materiales y técnicas locales; y fácil reciclamiento de los excedentes de construcción. Todas estas características nos enfocan a un objetivo, a un material ecológico, responsable con la naturaleza.

Los altos costos económicos en los materiales de construcción, la falta de capacitación de mano de obra y los procedimientos constructivos están impidiendo a este sector de la sociedad poder tener una vivienda digna y sustentable; dentro del tema de los materiales de construcción se puede mencionar la utilización actual para las edificaciones de viviendas populares su elevado costo, y a la vez, no reúnen características para un buen comportamiento. (Roux,2002)

El adobe ha ido evolucionando a través del tiempo, como la incorporación de materiales orgánicos. Binici, Aksogan y Shah (2004), expresa que la distribución de las fibras es arbitraria, a medida que los materiales fibrosos aumentaban, la resistencia a compresión y las propiedades de elasticidad del lodo mejoran el ladrillo.

La fibra también presenta gran importancia, unas de las cosas que favorece, es que limita las variaciones de volumen que se producen en el adobe durante el proceso de retracción que ocurre en la etapa de secado, en otras palabras, evita que el adobe se fisure en exceso durante esta etapa. (Saroza, Rodríguez, Menéndez y Barroso, 2008).

Las fibras ayudan a mejorar la durabilidad del adobe y su resistencia. Se han utilizado materiales como la paja, fibras vegetales y sintéticas para darle mayor estabilidad al adobe. Unas de las características que favorece al adobe es, evitar las fisuras y evitar la contracción de secado. Las fibras vegetales proveen rigidez y fuerza los compuestos, son fácilmente reciclables. (Caballero, Silva y Montes, 2010).

Algunas ventajas que optimiza la incorporación con fibras son: mejora del reparto de las tensiones internas y externas de la matriz terrosa; contrarrestar los movimientos y las tensiones diferenciales de retracción; recortar los defectos de la erosión sobre los paramentos de tierra (Cid, 2012)

En esta investigación se va analizar las características que aporta las fibras naturales (cabuya y paja de trigo), entre los esfuerzos de resistencia a compresión, tracción y durabilidad. Las muestras están conformadas, con un 25% de suelos finos (limos-arcillas) y 75% arena gruesa; también se adiciono 5% de cal referente al peso total de la masa (arcilla-limo y arena gruesa) y por último, se le agrego las fibras naturales, con respecto a su tamaño es de 15 mm, 30 mm y 45 mm de longitud, porcentajes a un 0 %, 0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2% y tipos de fibra como la paja de trigo y la cabuya.

Con los resultados obtenidos se podrá dar a conocer cuál es la mejor fibra natural para la composición de un adobe, y así mismo ser utilizados en las construcciones rurales. A la vez, se podrá generar nuevas hipótesis y proyecciones para ser empleados en otros campos de la construcción.

### **1.1.1. Antecedentes**

La ingeniera Llacza (2018) investigo “Influencia de tipos de suelos y porcentajes de CaO en adobe prensado, sobre compresión, durabilidad y resistencia al agua en zonas rurales, Trujillo” que se realizó en la Universidad Privada del Norte en la ciudad Trujillo-Perú. Su finalidad fue evaluar la influencia de los tipos de suelos y los porcentajes de CaO en un adobe prensado, sobre la resistencia a compresión, durabilidad y resistencia al agua; para lo cual utilizó dos tipos de suelos: suelo A (100% limo – arcilla) y suelo B (75% arena y 25% limo – arcilla); a la vez se le agrego diferentes porcentajes de CaO: 2%, 4% ,6% ,8% y 10% del total del suelo. Los resultados más favorables fueron con el suelo “B” (75% arena y 25% limos — arcillas) con una adición del 4% de CaO, con una resistencia a compresión de 69.9 Kg/cm<sup>2</sup>, en durabilidad perdió el 4% de su masa y en resistencia al agua un 40.1 Kg/cm<sup>2</sup>. El aporte a mi estudio fue que permitió establecer el tipo de suelo más óptimo (75% arena y 25% limos — arcillas) y tener una idea del porcentaje de cal a colocar (5%).

Los autores Cotrina, Limay & Lopez (2014) en la investigación “Comparación de la resistencia a la compresión de unidades de adobe sin paja con unidades de adobe con paja en cruz blanca – Cajamarca”, que se realizó en la Universidad Privada del Norte en la ciudad Cajamarca-Perú, investigaron sobre ladrillos de adobe con paja y sin paja para comparar la resistencia de ambos a la compresión. El proceso incluyó la elaboración de los ladrillos de adobe con materiales de la localidad de Cruz

Blanca (Cajamarca) y la posterior prueba en los laboratorios de la Universidad Privada del Norte. Se realizó en moldes de 40 x 40 x 8 cm. A la vez, se utilizó un suelo que tenía arcilla (entre 10 y 20%), limo (entre 15 y 25%) y arena (entre 55 y 70%). Las dosificaciones que se emplearon fueron: arena (13 latas), agua (35 lt) y paja (1/4 de fardo). Los resultados indican que los ladrillos de adobe elaborados con paja tienen mayor resistencia llegando su mejor resultado a 15.24 Kg/cm<sup>2</sup>. Con esta investigación muestra que la paja (fibra natural) ayuda a su resistencia a compresión de un adobe, por tal motivo se escogió como una fibra a investigar.

El autor Pajares (2015) investigó “Análisis del incremento de la resistencia mecánica del concreto con la adición de fibra vegetal” que se realizó en la Universidad Nacional de Cajamarca en la ciudad Cajamarca-Perú, donde investigó el incremento de la resistencia mecánica del concreto con la adición de fibra vegetal (cabuya) en porcentajes de 0.5%, 1% y 2% del volumen del concreto, así como también la reducción de costos basados en las resistencias tomando como patrón un diseño de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Para ello elaboró 216 especímenes, 72 prismáticos y 144 cilíndricos, divididos en grupos de 6 para ensayos a flexión, tracción y compresión, con diferentes porcentajes de adición de fibra y ensayados a 7, 14 y 28 días. Utilizaron cemento Pacasmayo Tipo 1, agregados extraídos del Río Chonta, fibra proveniente de Santa Bárbara. Los resultados experimentales mostraron que bajo las tres dosificaciones el concreto incrementa su resistencia a los diferentes esfuerzos; el mayor incremento de resistencia en compresión fue a 7.04%, con una adición de 1.00% de fibra, en tracción se incrementó la resistencia del 16.01% correspondiente a una adición de 1.00% de fibra, mientras que en flexión la resistencia se incrementó en 40.66% con una adición de 1.00% de fibra. El menor costo en relación a la resistencia a compresión fue con una adición de 0.50% de fibra, disminuyendo 1.19% en función al costo base, mientras que para los esfuerzos de tracción y flexión disminuyó costos en un 4.23% y 15.33% respectivamente con una adición de 1.00% en función al costo base. El aporte de esta investigación nos permitió establecer uno de los tipos de fibra natural a investigar (cabuya) donde nos muestra que ayuda a su resistencia a compresión en un concreto.

El autor Rivera (2017) realizó la tesis denominada “Influencia de fibras cortas de ave sobre la compresión, flexión y tracción en un mortero proyectado” que se realizó en la Universidad Privada del Norte en la ciudad Trujillo-Perú, se orienta en

el desarrolló de morteros proyectados universal de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , reforzado con fibra natural, reduciendo, costos y la contaminación ambiental; para ello evaluó la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia a la tracción. Para lo cual diseñó y elaboró mezclas de morteros proyectados universal, con una dosificación 1:4 de cemento Pacasmayo tipo I y arena gruesa, una relación de agua – cemento de 0.45, 1.5% del peso del cemento de aditivo superplastificante CHEMAMENT 400, 3% del peso del cemento de aditivo acelerante de fragua CHEMA TUNEL CA y reforzado con fibra (fibra del raquis de la pluma de pollo), fibra sintética de polipropileno fibra Z – Z aditivos, ambas con una longitud promedio de 30-50 mm. Y con un diámetro que oscila entre los 0,25 mm y 1,5 mm. Ambas fibras fueron agregadas al mortero proyectado en una relación de peso por volumen en cantidades de 0, 4, 6, 8, 10, 12  $\text{Kg/m}^3$ . Elaboró 3 réplicas para cada dosificación, conformando probetas circulares de 100 mm de altura x 50 mm de diámetro para el ensayo de compresión y tracción; y probetas en forma de viga de 160 mm de largo x 40 mm de ancho x 40 mm de alto para flexión. La máxima resistencia a compresión se obtuvo con una dosificación de  $4 \text{ kg/m}^3$  en ambas fibras,  $271 \text{ kg/cm}^2$  para el mortero proyectado con fibra de polipropileno y  $283 \text{ kg/cm}^2$  para el mortero proyectado adicionado con fibra de raquis de la pluma de pollo. La máxima resistencia a la flexión se obtuvo con  $10 \text{ kg/m}^3$  de fibra, probeta patrón  $54 \text{ kg/cm}^2$ , probeta con fibra de raquis  $97 \text{ kg/cm}^2$  y probeta con fibra de polipropileno  $69 \text{ kg/cm}^2$ ; el incremento con fibra de raquis es de 79% con respecto a la probeta patrón y al comparar con la fibra sintética es de 41%. Asimismo, se evaluó la resistencia a la tracción y se obtuvo la máxima resistencia de  $25 \text{ kg/cm}^2$  para ambas fibras, con una dosificación de  $6 \text{ kg/m}^3$ . Por último, hizo una evaluación económica por m del mortero proyectado y el ahorro es del 6.25% respecto al costo del mortero con fibra de polipropileno. Por lo tanto, recomendó usar la fibra de raquis de la pluma de pollo, las propiedades mecánicas mejoran, reduce los costos y aporte al cuidado del medio ambiente. Esta investigación tiene un aporte muy significativo, debido a que permitió establecer los tamaños de fibras naturales (15 mm, 30 mm, 45 mm) a utilizar. Ya que, los tamaños 30 mm a 50 mm ayudan a mejorar su resistencia a compresión y tracción de un mortero proyectado.

El investigador Alayo (2018) realizó la tesis “Resistencia a la flexión y compresión axial del adobe compactado con adición de fibras de yute, Cajamarca 2017” que se

realizó en la Universidad Nacional de Cajamarca en la ciudad Cajamarca-Perú. Investigo la resistencia a flexión y compresión del adobe compactado al incorporar fibras de yute, en diferentes porcentajes (0.1%, 0.5% y 1.0%) con respecto al adobe patrón. Se incorporo fibras de 25 mm, elaborando 6 unidades por incorporación, en la maquina CINVA RAM. Los resultados con respecto a la resistencia a compresión cumplen con la hipótesis planteada por el autor. A medida que se le va incorporando yute al adobe compactado, la resistencia a compresión va en aumento, mejorándolo en más de 10% a comparación del adobe compactado sin incorporación (patrón); pero este aumento se ve interrumpida en la última incorporación de 1% de fibra de yute; a pesar de ello sigue mejorando al adobe en más de 10%. Por otro lado, los resultados de la resistencia a flexión cumplen con la hipótesis, mejorando en más de 10%; no se ven interrumpidos y van en ascenso a medida que se le incorpora las fibras de yute a 0.10%, 0.50% y 1% con respecto al peso del adobe patrón. Este proyecto de investigación ayudo mucho con respecto a los porcentajes de fibras naturales en 0%, 0.3 %, 0.6%, 0.9% y 1.2% que se le agregue a las probetas.

### **1.1.2. Bases teóricas**

#### **1.1.2.1. La tierra**

La tierra es producto de la erosión de las rocas en la corteza terrestre. La erosión ocurre fundamentalmente a través de la pulverización de las rocas provocada por movimientos glaciales, del agua y viento, por la expansión y la contracción térmica de las rocas o por la expansión del agua congelada en las grietas de las rocas. Adicionalmente los ácidos orgánicos existentes en las plantas, las reacciones químicas producidas por el agua y el oxígeno provocan también la erosión de las rocas. La composición y variedad de las propiedades de la tierra dependen del lugar donde se encuentra. (Minke,2008)

#### **1.1.2.2. Adobe**

Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual se le puede agregar paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos. Cuando al adobe se le agrega otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante

la presencia de humedad, se le denomina Adobe Estabilizado. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)

Asimismo, otra definición el adobe es un bloque macizo de tierra sin cocer (cruda) que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad. (Norma E.080\_2017)

- **Requisitos para su elaboración**

Para obtener un buen adobe se debe tener en cuenta los materiales. Para la gradación del suelo debe tener un aproximado a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%; teniendo en cuenta que el suelo no debe tener compuestos orgánicos, ya que a largo plazo se degradan, y generan porosidad en los adobes. (Norma E.080\_2006)

- **Formas y Dimensiones**

Los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales. Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones: Para adobes rectangulares, el largo debe ser aproximadamente el doble del ancho; la relación entre el largo y la altura debe ser de 4 a 1; en lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)

- **Ventajas**

El material para la fabricación del adobe, es de fácil acceso para el usuario, se encuentra en la zona de construcción de las viviendas.

La construcción de viviendas con adobes, resulta ser simple y de bajo costo, por emplear la autoconstrucción.

Las viviendas de adobe, tienen excelentes propiedades térmicas y acústicas.

El material usado es un material inocuo, no contiene ninguna sustancia tóxica, siempre que provenga de un suelo limpio, sin materia orgánica.

El adobe es un material reciclable.

- **Desventajas**

Las construcciones de adobes, están limitados en la altura por lo general solo alcanzan dos pisos y en algunos casos un tercero, pero con material liviano, como la quincha.

Las construcciones de adobe son vulnerables a los efectos de fenómenos naturales tales como terremotos, lluvias, inundaciones, etc.

Las construcciones actuales de adobes son vulnerables ante los movimientos telúricos, pudiendo causar daño estructural severo, hasta el colapso.

Por su volumen las paredes ocupan demasiado espacio.

El ancho de los vanos, no deben ser mayores del 30% de la longitud del muro.  
(Lopez & bernilla, 2012)

**1.1.2.3. Adobes estabilizados**

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, el adobe estabilizado es cuando al adobe se incorporan otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con el fin de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad.

**1.1.2.4. Arena gruesa**

Todo material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4.76 mm y 0.074 mm.

**Origen de los agregados naturales**

Los agregados naturales provienen de las rocas, y se obtienen por un proceso de fragmentación natural, abrasión o mediante un proceso físico mecánico hecho por el hombre; en ambos casos conservan las propiedades físicas.

**Propiedades Físicas**

- **Granulometría**

La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa determinada. El análisis granulométrico consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor.

- **Tamaño Máximo**

Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso total de la muestra, indica la dimensión de la partícula más grande que hay en él agregado.

- **Tamaño Máximo Nominal**

Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado.

- **Módulo de finura**

Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material;

El uso del módulo de finura se ha restringido al agregado fino y según este módulo las arenas se clasifican en: Arenas finas Módulo de finura entre 0.5-1.5 Arenas medias Módulo de finura entre 1.5-2.5 Arenas gruesas Módulo de finura entre 2.5 - 3.5

- **Densidad**

La densidad depende directamente de la roca que dio origen al agregado. La densidad se define como la relación de peso a volumen de una masa determinada. Las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según la permeabilidad interna, es por tal motivo necesario hacer diferenciación entre los distintos tipos de densidad.

- **Porosidad y absorción**

La porosidad del agregado es una cualidad muy importante, directamente relacionada con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas. Porosidad está relacionada a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que tienen los agregados, capacidad que depende del número y tamaño de los poros y de la continuidad de los mismos. Según su contenido de humedad, las partículas que conforman un agregado pueden estar en los siguientes estados que muestra la figura 4. (Gutiérrez, 2003)



Figura 4:Diferentes estados de saturación del agregado (Gutiérrez,2003)

### 1.1.2.5. Arcilla

La fracción mineral activa de los suelos lo constituyen las arcillas. Si bien desde el punto de vista de su tamaño, adoptan la denominación de arcillas, las partículas minerales < 2mm de diámetro, mucho más trascendente es el comportamiento coloidal que exhiben; es decir la capacidad de mostrar cargas negativas en donde se absorben cationes que constituyen una posibilidad de reserva de nutrientes.

Otra característica de las arcillas es su estructura cristalina, de donde se toma como referencia para su clasificación.

En cuanto a su origen, las arcillas se derivan de minerales primarios como feldespatos, micas, minerales ferromagnesianos. Por ello, se consideran como minerales secundarios. (Noriega, 2011)

#### - Características

la resistencia seca es alta, especialmente si se seca al horno; no desprende polvo de la superficie; difícilmente desmenuzable con los dedos; los rollitos del límite plástico son tenaces, secan lentamente y permanecen finos, con humedades bajo el estado plástico; reacción muy lenta o nula a la vibración o dilatación; la superficie permanece lustrosa; dispersión cuando está en suspensión, tarda días a semanas, en asentarse, a menos que haya floculación. (Duque & Escobar,2016)

#### 1.1.2.6. Limos

El limo como componente del suelo es producto de los depósitos sedimentarios, típicamente resultantes de la glaciación. El tamaño de partícula de los suelos limosos varía entre los 0,002 y 0,80 mm aproximadamente. No poseen cohesión cuando están seco. Cuando están húmedos ofrecen una mejor cohesión y pueden alterar su volumen, expansión y contracción cuando esta varíe. (Etchebarne,2005)

##### - **Características**

la resistencia seca es baja, aún seca al horno; se desprende polvo de la superficie; es fácilmente desmenuzable con los dedos; los rollitos para el límite plástico son frágiles; secan rápido y se agrietan fácilmente con humedad bajo el estado plástico; tienen resistencia baja; su reacción rápida frente a vibración o dilatación; la superficie se vuelve húmeda por vibración y se opaca al presionarla; se asienta entre 15 y 60 minutos y la arena tarda entre 30 y 60 segundos. (Duque & Escobar,2016)

#### 1.1.2.7. Cal

El óxido de calcio (CaO) es un compuesto inorgánico que contiene calcio y oxígeno en formas iónicas (no confundir con el peróxido de calcio, CaO<sub>2</sub>). Mundialmente se le conoce como cal, palabra que designa a todo compuesto inorgánico que contiene carbonatos, óxidos e hidróxidos de calcio, además de otros metales tales como silicio, aluminio y hierro.

Producto que se obtiene calcinando la piedra Caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio. En ese estado se denomina cal viva u óxido de calcio y si se apaga sometiéndola al tratamiento de agua, se le llama cal apagada (hidróxido de calcio). (Gómez, 2000)

##### **A) Cal apagada**

Es el producto obtenido después de agregarle agua a la cal viva para poder hidratar sus óxidos y está compuesta, fundamentalmente por hidróxido de cálcico.

##### **Apagado de la cal**

La cal viva no se puede utilizar como tal para propósitos estructurales; puesto que el método de apagado es un factor importante en la

determinación de la calidad del producto terminado, se debe determinar las siguientes especificaciones:

Si no existe indicación del fabricante respecto al procesamiento de apagado de la cal, se debe determinar si la cal es de apagado rápido (antes de 5 min.), medio (de 5 a 30 min.) o lento (más de 30 min.), antes de proceder al apagado.

- Se colocan en un recipiente dos o tres terrones de cal cuya masa total sea de 200 gr. o del tamaño aproximado de un puño. Se le agrega agua, suficientemente para cubrir la cal y se observa cuánto tiempo toma para que el proceso de apagado comience. El apagado de cal comienza cuando se empiezan a desprender pedazos de cal o los terrones se desmoronan. La temperatura del agua debe ser la misma para el ensayo en campo y en laboratorio.
- Para cal de apagado rápido, siempre se tiene que tener en cuenta que primero se agrega la cal al agua, no al contrario. Se necesita agua en abundancia de manera que cubra la cal completamente. Se debe tener gran cantidad de agua para uso inmediato. Se debe observar la cal constantemente para detener el escape del vapor.
- Para cal de apagado medio, se agrega agua a la cal, de manera que quede medio sumergida. Se añade un poco de agua ocasionalmente si es que comienza a escapar vapor, para evitar que la masilla se seque y desmorone. Se tiene que tener cuidado para no agregar más agua de la necesaria y no demasiada a la vez.
- Para la cal de apagado lento, se agrega suficiente agua para humedecerla completamente. Se la deja reposar hasta que se inicie la reacción. Se añade más agua lentamente y con mucha precaución, un poco a la vez, cuidando que la masa no se enfríe por el agua fresca. Si el clima es muy frío es preferible usar agua caliente; sin embargo, si no se dispone de ella, se puede cubrir la batea de alguna manera, para retener el calor. (Alconz, 2006)

### **Procesamiento de la cal**

- Extracción: Se desmonta el área a trabajar y se lleva a cabo el descapote, posteriormente se barrena aplicando el plan de minado diseñado, se realiza la

carga de explosivos y se procede a la voladura primaria, moneo, tumbes y rezagado, carga y acarreo a planta de trituración.

- Trituración: Posteriormente es sometida a un proceso de trituración que arrojará como producto trozos de menor tamaño que serán calcinados en hornos verticales. También puede realizarse una trituración secundaria cuando se requieren fragmentos de menor tamaño y se tienen hornos rotatorios para calcinar.
- Calcinación: La cal es producida por calcinación de la caliza y/o dolomía trituradas por exposición directa al fuego en los hornos. En esta etapa las rocas sometidas a calcinación pierden dióxido de carbono y se produce el óxido de calcio (cal viva).
- Enfriamiento: Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresan al horno como aire secundario.
- Inspección: Se inspecciona cuidadosamente las muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcinar.
- Cribado: Se somete al cribado con el fin de separar la cal viva en trozo y en guijarros (piedra pequeña, redondeada y lisa) de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización.
- Trituración y pulverización: Se realiza con el objeto de reducir más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada, la cual se separa de la que será enviada al proceso de hidratación.
- Hidratación: Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva dolomítica y alta en calcio se le agrega agua y es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal dolomítica y alta en calcio. Únicamente la cal viva dolomítica pasa por un hidratador a presión y posteriormente a molienda para obtener cal dolomítica hidratada a presión.
- Envase y embarque: La cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que la llevará al cliente.

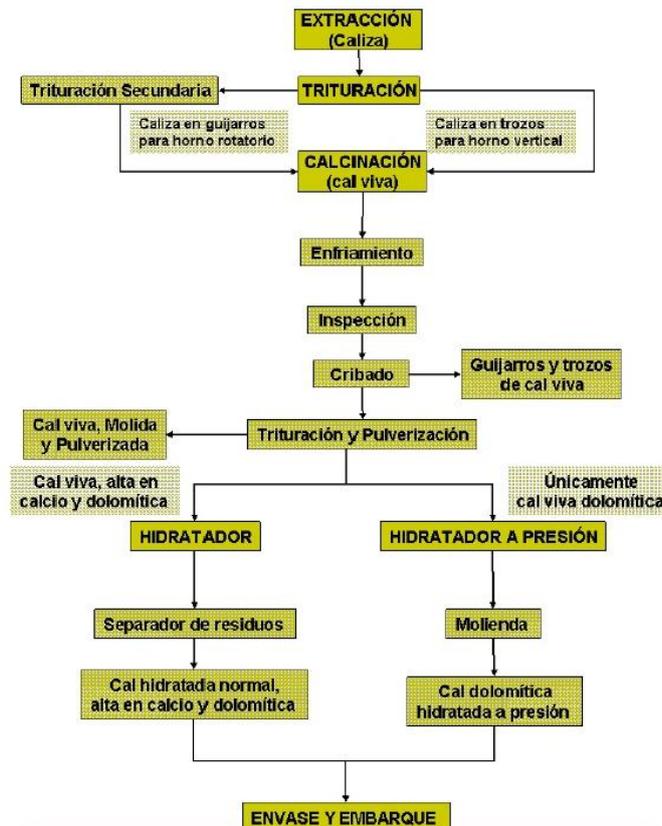


Figura 5: Procesamiento industrializado de la cal (Dirección General de Desarrollo Minero, 2013)

### Efectos de la aplicación de la cal

Como consecuencia de la combinación de los mecanismos descritos en el apartado anterior, la aplicación de cal a un suelo arcilloso origina una modificación en las propiedades físicas características de su comportamiento inicial. Si bien ya se ha mencionado que en función de la mineralogía del suelo y de la proporción y forma de aplicación de cal se producen unos u otros procesos en mayor o menor medida, es posible resumir y englobar los efectos más genéricos de la mejora en los que siguen:

- Reducción de la humedad natural del suelo
- Modificación de la granulometría
- Aumento de la permeabilidad
- Mayor trabajabilidad
- Reducción del índice de plasticidad
- Reducción del potencial de cambios volumétricos
- Modificación de las características de compactación

- Aumento inmediato de la consistencia
- Mayor resistencia a medio y largo plazo

### **Factores condicionantes en el tratamiento con cal**

En la aplicación de cal a un suelo con el objeto de conseguir una mejora o una estabilización del mismo existen una serie de factores de los que depende el éxito del tratamiento. La mayoría de ellos se deducen de los propios mecanismos de la interacción de la cal con las arcillas. Algunos factores externos pueden ser:

#### **a) La composición del suelo:**

- Su contenido en arcilla
- Las características mineralógicas de la arcilla
- El contenido en materia orgánica
- El contenido en sulfatos solubles

#### **b) La plasticidad del suelo**

#### **c) El pH del medio en que se produce el tratamiento**

#### **d) El proceso de ejecución:**

La disgregación y homogeneidad de la mezcla

La dificultad de compactación

La humedad de compactación

#### **e) La presencia de agua:**

- Por su agresividad
- Por los fenómenos de lixiviado En el diseño de los tratamientos con cal, mejora y estabilización, es preciso cuantificar y evaluar estos factores en la medida en que de ellos dependerá el éxito de la aplicación. (Bauza,2003)

### **1.1.2.8. Fibra**

ASTM C 1116 conceptualiza las fibras como filamentos delgados y alargados en forma de paquetes, redes o cadenas de cualquier material natural o manufacturado que puede ser distribuido en todo el largo el un concreto recién mezclado.

#### **A) Fibra natural**

Las fibras de las plantas tienen propiedades físicas relacionadas con la estructura interna y los constituyentes del producto vegetal que se utiliza. Las fibras vegetales son estructuras lignocelulósicas a base de lignina, celulosa, y

hemicelulosa, con varios componentes menores, tales como sales inorgánicas, ceniza, taninos, proteínas, cera y pectina. Estos constituyentes varían dependiendo de la fuente de las fibras, las condiciones de cultivo, edad de la planta y los procesos de digestión.

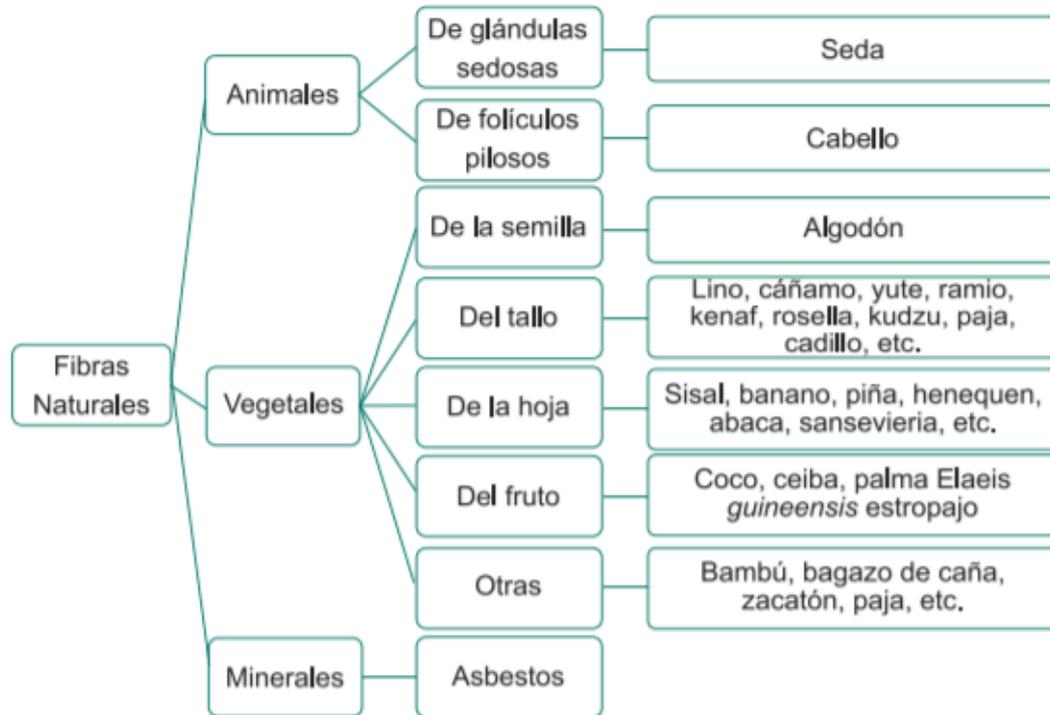


Figura 6: Fibras naturales clasificadas según su origen (Maya y Sabu, 2008)

### a) Materiales Compuestos Reforzados con Fibras

Los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son una de las más importantes. Constantemente se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir una mayor resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros resistencia específica y módulo específico, que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico. Los materiales compuestos reforzados con fibras se subclasifican por la longitud de la fibra.

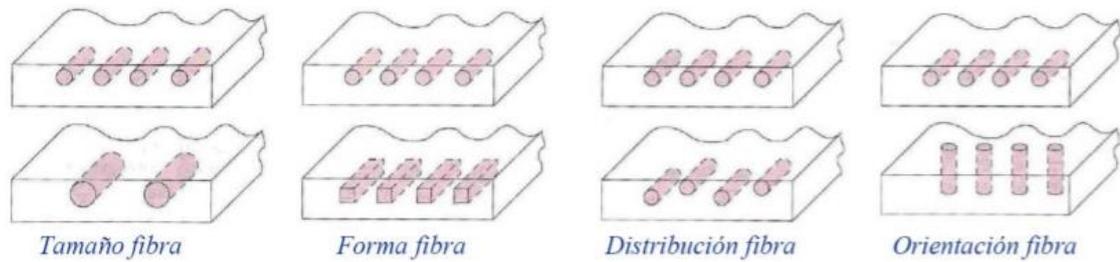


Figura 7: Tamaños, formas, distribución y orientación de una fibra

### a.1. Influencia de la Longitud de la Fibra

Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras no sólo dependen de las propiedades de la fibra, sino también en la carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. En este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión y adherencia en la interfaz de las fases matriz y fibra. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación, se puede observar en la figura 7; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz.

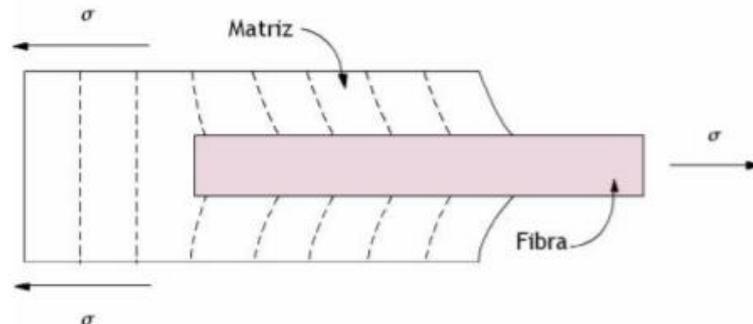


Figura 8: Deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo

### a.2. Influencia de la orientación y de la concentración de la fibra

La disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración y distribución influyen en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos. Con respecto a la orientación existen dos situaciones: alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras y alineación al azar. Las fibras continuas normalmente se alinean (Figura 6 a), mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear (Figura 6 b) o bien se pueden orientar al azar (Figura 6 c) o alinearse parcialmente. (Moral & Nogueira, 2007)

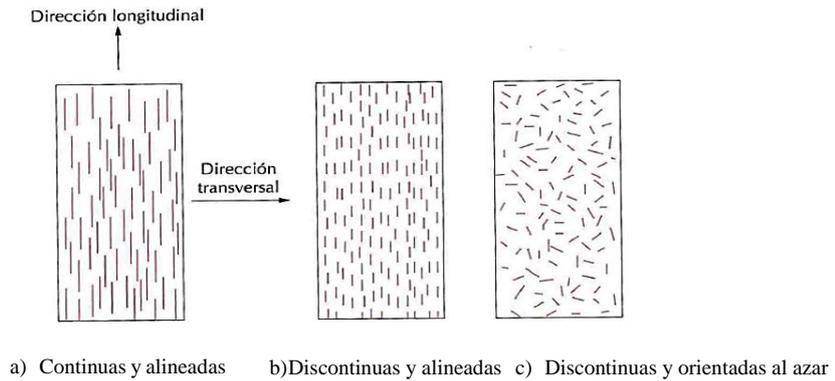


Figura 9: Representaciones esquemáticas reforzados con fibras

### 1.1.2.9. Cabuya

La fibra de fique, también llamada cabuya, es una fibra natural dura, resistente y relativamente barata que tendrá menor impacto en el ambiente y ocasionaran el uso de menos productos industriales. Según GHD Tonoli, et al., en el libro sobre cemento y compuestos de concreto, el uso de compuestos reforzados con fibras como hojas planas, tejas para techos y componentes pre-manufacturados pueden representar una contribución importante a la infraestructura en países en desarrollo (Wilson,2016).

#### Características físicas de la fibra de cabuya

La cabuya se encuentra dentro del grupo de las fibras duras, ya que sus hojas están constituidas de fibras elementales o fibrillas, unidas entre si con una goma o cera que le proporciona rigidez y aspereza a la misma. (Robles,1985)

Las fibrillas elementales son muy cortas, están en el rango de 2 y 6 milímetros de longitud, y su unión, forman esos largos filamentos conocidas en el mercado con el nombre de fibras o hebras.

El objetivo fisiológico de estos ejes fibrosos es la de dar resistencia y rigidez a las hojas y servir de base de sustentación a los vasos conductores de savia; debido a estas funciones mecánicas, se les da también el nombre de "fibras estructurales"

Las fibras están formadas por un agregado de células que hacen crecer los ejes fibrovasculares y van unidos con los vasos conductores de savia.

Las características físicas de la fibra de cabuya dependen mucho de los siguientes factores: tipo y calidad de suelo, clima, humedad, región, la especie y

los procesos mecánicos sometidos. Todos estos van a determinar características como:

- Longitud: 50 a 300 cm / Longitud promedio de 127.30 cm.
- Color: Crema.
- Brillo: Fibra muy lustrosa.
- Tacto: Fibra áspera y tiesa.
- Producción: Una planta produce anualmente cerca de 1 kg.
- Finura (tex): 22.63
- Resistencia (RKM ): 24.41

Se argumenta que las fibras de climas fríos son más finas y menos resistentes que la de los climas cálidos. Se añade también que la cabuya bien lavada es más resistente, pero en cambio la cabuya sucia posee un gran poder de elongación. (Perez,1974)

Tabla 1: Composición química de la fibra

| COMPONENTES             | POR CIENTO  |
|-------------------------|-------------|
| HUMEDAD, CERAS Y GRASAS | 1.9         |
| CENIZAS                 | 0.7         |
| PENTOSANOS              | 10.5        |
| CELULOSA                | 73.8        |
| LIGNINA                 | 11.30       |
| <b>TOTAL</b>            | <b>98.2</b> |

Fuente: Piñeros,1967



Figura 10: Planta de cabuya también llamada fique (Sánchez L., 2018)

#### 1.1.2.10. Paja de trigo

La construcción con paja presenta otras ventajas indiscutibles: es un material renovable, disponible donde quiera que crezcan cosechas de grano, que suele convertirse en un residuo en ocasiones quemado en el campo; es un elemento ligero para transportar, a la vez, ofrecen una mayor resistencia al calentamiento.

La mezcla especial de arcilla, paja y baba de nopal, tiene un valor cementante y aislante significativo, como un yeso natural. Proporcionan un ambiente interior tranquilo, confortable y saludable. La utilización de las pacas de paja también se puede combinar con otros sistemas constructivos. Cabe mencionar que las estructuras hechas con pacas de paja y adobe son muy resistentes frente a incendios ya que logran soportar una temperatura muy elevada. (Oseguera,2011)

La paja de trigo con respecto a la capacidad de absorción de agua, en la figura 10 se muestra el resultado, donde demuestra que es un material que tiene una gran capacidad de absorción de agua, lo cual puede generar tanto muy buenos beneficios como dificultades al momento de implementar. (Bouasker, Belayachi, Hoxha y Al-Mukhtar,2014)

Tabla 2: Densidades y porosidad de diferentes tipos de fibras de paja

| No. Paja | Densidad Aparente (Kg/m <sup>3</sup> ) | Densidad Absoluta (Kg/m <sup>3</sup> ) | Porosidad (%) |
|----------|--|--|---------------|
| Paja 1   | 30                                     | 871                                    | 96            |
| Paja 2   | 33                                     | 867                                    | 96            |
| Paja 3   | 25                                     | 865                                    | 97            |
| Paja 4   | 47                                     | 870                                    | 94            |

Fuente: Bouasker, Belayachi, Hoxha y Al-Mukhtar,2014

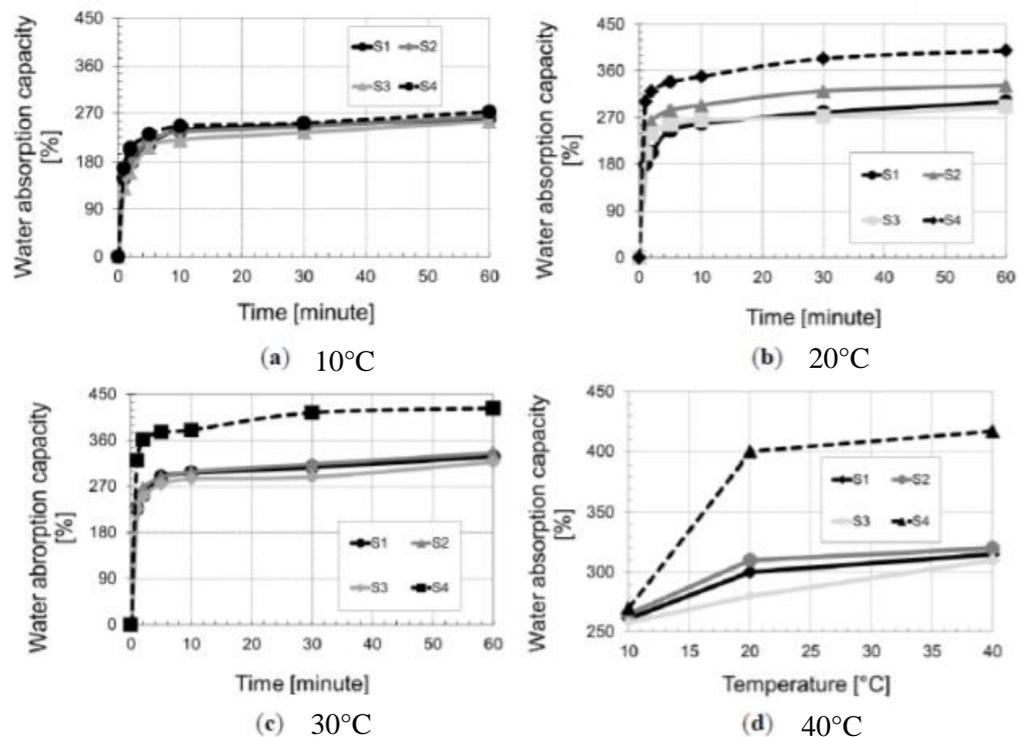


Figura 11: Capacidad de absorción con respecto al tiempo a diferentes temperaturas (Bouasker, Belayachi, Hoxha y Al-Mukhtar,2014)



Figura 12: Paja de trigo (Brunel J.,2015)

#### 1.1.2.11. Agua

Es el agente que permite que los estabilizantes reaccionen químicamente y el elemento que hace que la tierra gane plasticidad, básicamente mediante su absorción por parte de la arcilla.

La humedad óptima que se le agregue al bloque de tierra es la que consiga una mayor densidad del bloque. Durante el secado de la pieza a la sombra, el agua poco a poco desaparecerá dejando que las reacciones químicas se produzcan en el interior de la pieza. (Carcedo, 2012)

Debe cumplir las siguientes características:

- El Agua potable o agua debe estar libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión
- Estar limpia y libre de cantidades perjudiciales como aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas. (NORMA E.080)

#### 1.1.2.12. Ensayos Químicos

##### - **Salinidad**

La salinización es el proceso de acumulación de sales solubles que están disueltas en el agua. Se llama suelo salino a un suelo con exceso de sales solubles, que están compuestas por los iones: Aniones: sulfato, cloruro, bicarbonato y cationes: magnesio, potasio, sodio, calcio. (Castellanos,2000)

##### - **Conductividad Eléctrica**

Es la capacidad que tiene una sustancia en conducir la corriente eléctrica. Con respecto al suelo, es la medida de la cantidad de corriente que pasa a través de la solución de este mismo. La conductividad eléctrica de una

solución es proporcional al contenido de sales disueltas e ionizadas contenidas en esa solución. (Castellanos,2000)

#### - pH

Es la medida de la concentración de hidrogeno expresado en términos logarítmicos. Los suelos arcillosos tienen usualmente un valor pH entre 7 y 8.5. Si el suelo se extrae en zonas industriales puede ser ácido si se extrae de las capas superficiales debido a lluvia ácida. Un pH de más de 7 usualmente previene el crecimiento de hongos (El valor del pH favorable para el crecimiento de hongos varía usualmente entre 6.5 y 4.5). (Minke,2008)

#### 1.1.2.13. Resistencia a compresión

Se conceptualiza como la capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas adquiriendo deformaciones sin llegar a romperse

La fuerza cuando actúa sobre un cuerpo, presenta fuerzas resistentes en las fibras del cuerpo que se denominan fuerzas internas. Es decir, que es la resistencia interior de un cuerpo a una fuerza externa. El término esfuerzo, se refiere a la magnitud de la fuerza por unidad de área. De tal manera, que la resistencia de un material es la propiedad que tiene para resistir la acción de las fuerzas.

El esfuerzo de compresión es una presión que tiende a causar una reducción de volumen. (Ríos, 2010)

#### 1.1.2.14. Durabilidad

La durabilidad de los materiales se puede subdividir en tres tipos: durabilidad física, química y biológica. La durabilidad física se debe a un deterioro causado a procesos físicos como agua de lluvia, abrasión, etc.; la durabilidad química se debe a un deterioro producido por reacciones químicas, mientras que la durabilidad biológica se debe a un deterioro causado por una descomposición orgánica.

La causa predominante de pérdida de funcionalidad en paredes de tierra es debido a la pérdida de la superficie que a su vez es debido a la erosión por agua de lluvia. (Cid, 2012)

### **1.1.2.15. Contracción volumétrica**

La contracción volumétrica es la cantidad que un sólido cambia totalmente su volumen; un suelo fino que contenga en su mayor parte partículas compuestas de minerales de arcilla variara de volumen con respecto a su contenido de humedad, por lo tanto, a medida que aumente el contenido de humedad también proporcionalmente aumentara su volumen. Durante el secado de una pieza conformada recientemente, los granos se atraen conjuntamente hasta que ellos se topen, resultando en una contracción por secado. (Leoni,2011)

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influye el tamaño, porcentaje y tipo de fibra natural en adobes estabilizados sobre la resistencia a la compresión, contracción y durabilidad en construcciones rurales en la ciudad de Trujillo, 2019?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del tamaño, porcentaje y tipo de fibra natural en adobes estabilizados con cal sobre la resistencia a la compresión, contracción y durabilidad en construcciones de bajos recursos en la ciudad de Trujillo, 2019.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el tamaño, porcentaje y tipo de fibra natural que favorece la resistencia a compresión en un adobe estabilizado para construcciones rurales.
- Analizar el tamaño, porcentaje y tipo de fibra natural que mejora la durabilidad en un adobe con cal para construcciones con material rustico.
- Determinar el tamaño, porcentaje y tipo de fibra natural que optimiza la propiedad de contracción para construcciones rurales.
- Realizar el cálculo de dosificación y costo, para un m<sup>2</sup> de pared de adobe estabilizado con cal.
- Elaborar un análisis estadístico para verificar si las variables independientes influyen en las variables dependientes.
- Analizar la caracterización del suelo fino, arena gruesa y la cal.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

De manera que incrementa el tamaño y porcentaje de fibra de cabuya y paja de trigo, aumentara su resistencia a compresión, contracción y durabilidad en adobes estabilizados para construcciones rurales en la ciudad de Trujillo, 2019.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- El aumento de tamaño y porcentaje, según su tipo de fibra natural, incrementará su resistencia a compresión en adobes estabilizados para construcciones rurales.
- El incremento de tamaño y porcentaje, según su tipo de fibra natural, favorecerá su durabilidad en adobes estabilizados para construcciones rurales.
- A mayor tamaño y porcentaje, según su tipo de fibra natural, optimizara su contracción en adobes estabilizados para construcciones rurales.
- El muro de adobe de un m<sup>2</sup> más rentable económicamente será el que tenga la fibra natural más económica.

## II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El diseño de la investigación es experimental trifactorial, en el diseño se manipulan deliberadamente una o más variables, las cuales serán evaluadas en varias condiciones, para medir el efecto que tienen en otra variable independiente de interés.

Tabla 3: Variables de estudio de investigación

| Variables independientes | Niveles de estudio                             |
|--------------------------|--|
| A: Tamaños de fibras     | 15 mm, 30 mm y 45 mm                           |
| B: Porcentajes de fibras | 0%, 0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2%                    |
| C: Tipos de fibras       | Cabuya y Paja de Trigo                         |
| Variables dependientes   |  |
|                          | Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|                          | Contracción (%)                                |
|                          | Durabilidad (%)                                |

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### 2.2.1. Unidad de estudio

Adobes.

#### 2.2.2. Población

Todos los adobes estabilizados con refuerzo.

#### 2.2.3. Muestra

Se utilizó método de muestreo no probabilístico, porque se basa en el conocimiento y juicio del investigador. El investigador selecciona a los individuos a través de su criterio o ayuda profesional.

Se utilizará 90 Probetas de forma cúbica con dimensiones de 50 mm x 50 mm x 50 mm a base de adobes estabilizados con cal en estado endurecido para ensayo de resistencia a compresión.

Se utilizará 90 Probetas de forma cúbica con dimensiones de 50 mm x 50 mm x 50 mm a base de adobes estabilizados con cal en estado endurecido para ensayo de durabilidad.

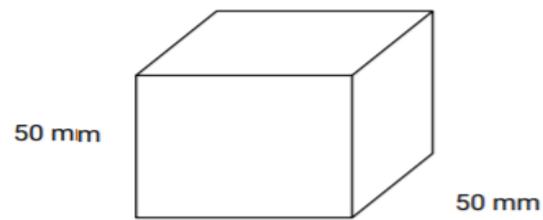


Figura 13: Probetas para compresión y durabilidad

Se utilizará 90 Probetas de forma circular con dimensiones de 80 mm x 19.5 mm a base de adobes estabilizados con cal en estado endurecido para ensayo de contracción volumétrica.



Figura 14: Probeta para la contracción volumétrica

**Número de ensayos: [(Nivel A x Nivel B x Nivel C x N° Rep.) x V. dep**

**Número de ensayos = (3 x 5 x 2 x 3) x 3 = 270**

Tabla 4: Matriz de diseño experimental de las variables independientes

|                     |                           | Tamaños de fibras (A) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------|---------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                     |                           | a1                    |        |        |        |        | a2     |        |        |        |        | a3     |        |        |        |        |
| Tipos de fibras (c) | Porcentajes de fibras (b) | b1                    | b2     | b3     | b4     | b5     | b1     | b2     | b3     | b4     | b5     | b1     | b2     | b3     | b4     | b5     |
|                     |                           | c1                    | a1b1c1 | a1b2c1 | a1b3c1 | a1b4c1 | a1b5c1 | a2b1c1 | a2b2c1 | a2b3c1 | a2b4c1 | a2b5c1 | a3b1c1 | a3b2c1 | a3b3c1 | a3b4c1 |
|                     | c2                        | a1b1c2                | a1b2c2 | a1b3c2 | a1b4c2 | a1b5c2 | a2b1c2 | a2b2c2 | a2b3c2 | a2b4c2 | a2b5c2 | a3b1c2 | a3b2c2 | a3b3c2 | a3b4c2 | a3b5c2 |

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1. Técnica de recolección de datos**

La presente investigación se utilizó observación directa, ya que nos permite ver de manera más detallada lo que está pasando en un determinado espacio y tiempo. Por medio de esta técnica registramos el comportamiento y características de las probetas cúbicas con los diferentes tamaños, porcentajes y tipos de fibras naturales, por lo cual obtuvimos información y resultados confiables de los ensayos que se realizaron.

### **2.3.2. Instrumento de recolección de datos**

El instrumento empleado fue la guía de observación, evaluado por el Ing. Iván Vásquez Alfaro, asesor de esta investigación. La guía de observación nos ayudó a usar un registro de todas las características observadas al realizar los ensayos de resistencia a compresión, contracción y durabilidad.

## 2.4. Procedimiento de recolección de datos

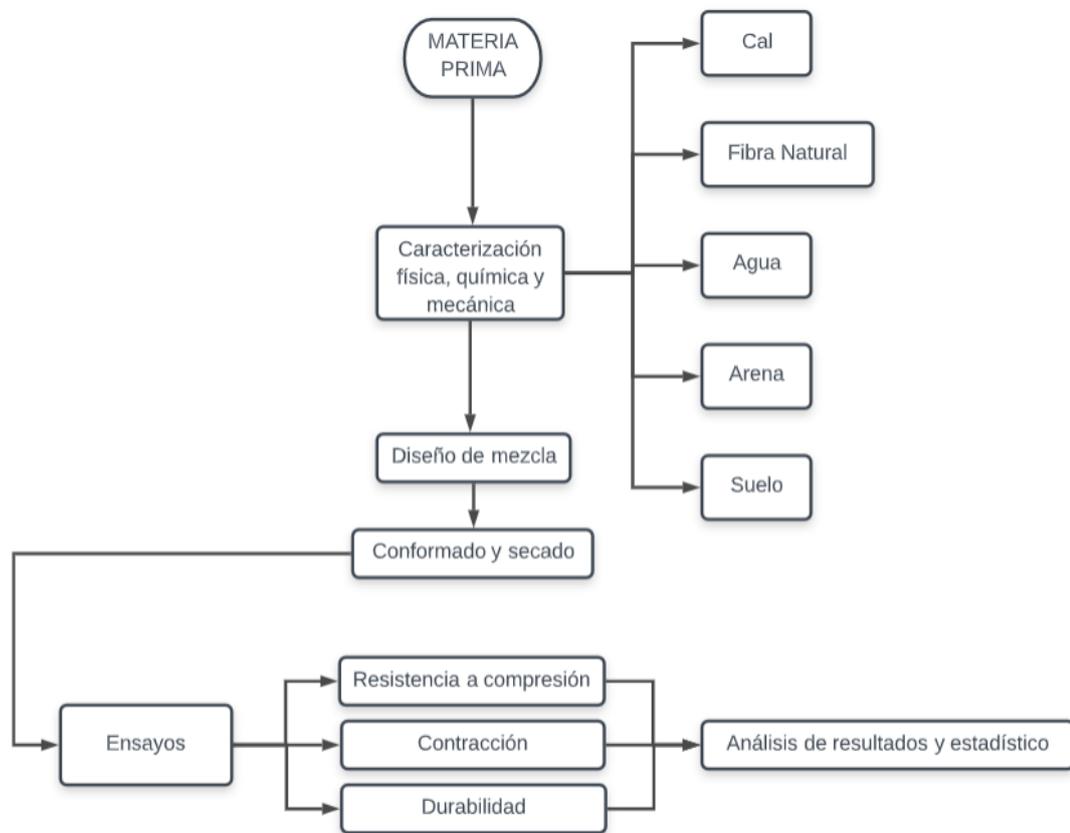


Figura 15: Diagrama del proceso de investigación

## 2.4.1. Caracterización de la materia prima

### A. Materia Prima

Para la elaboración de la investigación se obtuvo tierra de Moche de tonalidad amarillenta, donde se depositó en recipientes, en su forma natural. La tierra debe pasar por un tamiz N° 4. La arena gruesa, se compró en la arenera Jaén donde adquirimos un 1 m<sup>3</sup>. Las fibras naturales se obtuvieron del laboratorio de Concreto y Reciclado de la Universidad Nacional de Trujillo, donde nos proporcionaron un balde por cada fibra (cabuya y paja de trigo). La cal fue extraída de una empresa informal llamada Cantera Calderón en Simbal.

Adquiridas las materias primas fueron trasladadas a un ambiente libre de humedad. También, se utilizó agua potable de la ciudad de Trujillo, que nos permitirá moldear y a la vez sea manejable la mezcla.

Se procedió a detallar cada uno de los ensayos realizados al agregado corroborando con sus respectivas normas para la caracterización.

#### A.1. Humedad (ASTM C566-MTC E108)

Este ensayo detalla el porcentaje total de humedad que contiene el material, lo cual consiste en someter una muestra a un proceso de secado y comparar su masa antes y después del proceso.

Tabla 5: Masa mínima recomendada para ensayo de humedad – MTC E 108

| Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%) | Tamaño de malla estándar | Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados |      |
|---|--------------------------|---|------|
|   |                          | a±0.1%  | a±1% |
| 2 mm o menos                              | 2.00 mm (N°10)           | 20g   | 20g  |
| 4.75 mm                                   | 4.760 mm (N°4)           | 100g  | 20g  |
| 9.5 mm                                    | 9.525 mm (3/8")          | 500g  | 50g  |
| 19.0 mm                                   | 19.050 mm (3/4")         | 2.5kg   | 250g |
| 37.5 mm                                   | 38.1 mm (1 1/2")         | 10 kg   | 1 kg |
| 75.0 mm                                   | 76.200 mm (3")           | 50 kg   | 5 kg |

Se toma una muestra en estado natural y se coloca en taras para luego proceder a pesar ( $W_T$ ), se colocará una cierta cantidad, según lo indique la tabla 5 de humedad ( $W_1$ ), en seguida se procede a pesar, anotando su peso, para después ser colocado en el horno de secado a una temperatura  $110 \pm$

5°C por 24 horas, y finalmente se retira la muestra, dejando enfriar para luego registrar el peso seco de la muestra más la tara (W<sub>2</sub>).

Por último, se procederá a llenar datos y a realizar los cálculos correspondientes empleando siguiente fórmula:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100$$

Dónde:

W= Humedad (%)

W<sub>1</sub>=Peso del recipiente más muestra húmeda (g)

W<sub>2</sub>=Peso del recipiente más muestra secada en horno (g)

W<sub>t</sub>=Peso del recipiente (g)

Tabla 6: Plantilla de cálculo del ensayo de humedad

| Descripción   | Und. | M1 | M2 | M3 |
|---|------|----|----|----|
| Peso del recipiente (W <sub>t</sub> )                   | g    |    |    |    |
| Peso del recipiente + muestra humedad (W <sub>1</sub> ) | g    |    |    |    |
| Peso del recipiente + muestra seca (W <sub>2</sub> )    | g    |    |    |    |
| Humedad (%)   |      |    |    |    |
| Promedio de humedad (%)                                 |      |    |    |    |

## A.2. Ensayo granulométrico por lavado (ASTM C136 – ASTM D422)

El ensayo sirve para determinar el tipo de arena y tierra, los porcentajes de arena gruesa, arena media, arena fina, limo – arcilla. Así como también garantiza que la distribución de las partículas cumple con los requisitos.

La cantidad de muestra se toma de acuerdo a lo que indica la norma, con respecto al suelo, se realizó un cuarto de la muestra para realizar el lavado por la malla #200, el lavado finaliza cuando el agua (corriente) pasa por la malla y se torna transparente. Luego se retira el material de la malla, sin desperdiciar muestra en un recipiente de metal, donde se colocó en el horno por 24 horas con una temperatura de 110 ± 5°C. Se extrajo la muestra del horno y se pesó en una balanza electrónica (± 0.01 g) posteriormente se colocará el juego de tamices en orden progresivo. N° 4, N° 8, N° 16, N°30, N° 50 N° 100 y N° 200.

Se tomará el peso de cada tamiz, luego se vaciará el material seco, y se comenzó a tamizar girando 5° por un tiempo de 10 minutos aproximadamente. Finalmente se procede a pesar a pesar las fracciones retenidas en cada uno de los tamices. Al material perdido por lavado se le agrega el peso que paso por la malla N°200. El lavado solo se realizó para el suelo, para la arena gruesa se realizó el procedimiento en su forma natural. Por último, ya con los datos obtenidos, se registra en la tabla 7, para sus respectivos cálculos.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

$$\% \text{ Retenido acumulado} = \frac{\text{Peso retenido acumulado}}{\text{Peso total}} \times 100$$

El módulo de finura se calculó con la siguiente formula.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ PESO RET. A. (N}^\circ 4,8,16,30,50,100)}{100}$$

Tabla 7: Plantilla de datos para granulometría por tamizado

| Tamiz N°                    | Abertura (mm) | Peso tamiz (g) | Peso tamiz + muestra (g) | Peso retenido (g) | Peso retenido (%) | Peso ret. Acumulado (%) | Pasa (%) |
|-----------------------------|---------------|----------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------|
| 4                           | 4.75          | 500.41         |                          |                   |                   |                         |          |
| 8                           | 2.36          | 476.39         |                          |                   |                   |                         |          |
| 10                          | 2             | 474.46         |                          |                   |                   |                         |          |
| 12                          | 1.7           | 425.67         |                          |                   |                   |                         |          |
| 16                          | 1.18          | 395.51         |                          |                   |                   |                         |          |
| 20                          | 0.85          | 386.37         |                          |                   |                   |                         |          |
| 40                          | 0.6           | 375.68         |                          |                   |                   |                         |          |
| 50                          | 0.3           | 343.29         |                          |                   |                   |                         |          |
| 60                          | 0.25          | 329.76         |                          |                   |                   |                         |          |
| 80                          | 0.18          | 345.49         |                          |                   |                   |                         |          |
| 100                         | 0.15          | 329.53         |                          |                   |                   |                         |          |
| 200                         | 0.15          | 322.28         |                          |                   |                   |                         |          |
| <b>Fondo total retenido</b> |               |                |                          |                   |                   |                         |          |
| <b>Total</b>                |               |                |                          |                   |                   |                         |          |

### A.3. Clasificación de suelos según SUCS

Se realizó la clasificación siguiendo las reglas por la norma. Divide los suelos en grano grueso, grano fino y suelos altamente orgánicos, estos suelos se nombran por símbolos de grupo que constan del tipo de suelo (Prefijo) y subgrupo(sufijo). Los prefijos con las iniciales de los nombres ingleses (grava, arena, limo, arcilla, orgánicos y turba), mientras los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos (bien graduado, pobremente graduado, limoso, arcilloso, de alta plasticidad y de baja plasticidad). Para su clasificación tenemos que tener en cuenta el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200, si el porcentaje que pasa por el tamiz es >50% este suelo será fino, y si el porcentaje es <50% es un suelo grueso. Al indicar que el suelo es fino, se procederá a verificar el tipo de suelo en la carta de plasticidad, donde en el eje X está indicado por el porcentaje de límite líquido, y en el eje Y por el índice de plasticidad.

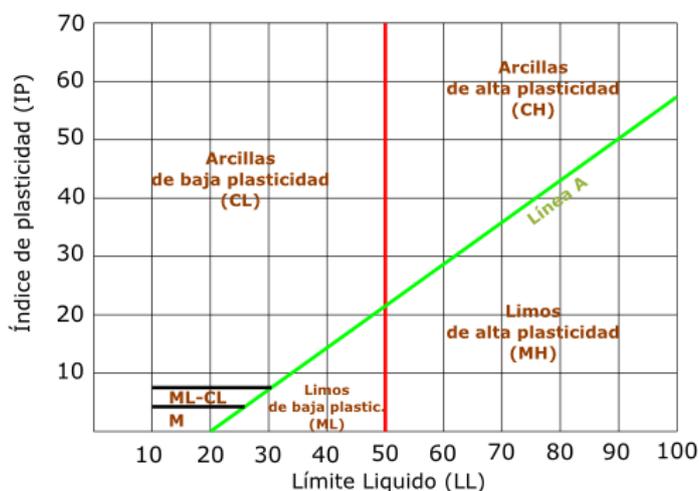


Figura 16: Carta de plasticidad para clasificación de suelos SUCS

### A.4. Límites de Atterberg (ASTM D4318)

Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y límite de contracción de suelos.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad

LL = Límite líquido

LP = Límite plástico

### Límite líquido

Se tomó la muestra que pasa por el tamiz N° 40, luego se toma entre 150 a 200 gr de muestra, colocándolo en un recipiente de porcelana, donde se mezclara con agua, dándonos una mezcla homogénea, posteriormente la mezcla se coloca en la Copa Casagrande, previamente se tuvo que calibrar la Copa de Casagrande para que esta tenga la altura de aproximadamente 1 cm. Luego de colocar una pequeña cantidad de la mezcla en la parte central de la copa de Casagrande formando una torta alisada de un espesor de 1 cm se divide en la parte media, utilizando un ranurador. Después se pondrá en movimiento la cazuela con ayuda de la manivela y contar los golpes que sean necesarios para cerrar la ranura de la muestra. Cuando se cierra se registra la cantidad de golpes y se procede a tomar una muestra de la parte central, se coloca en una tara, previamente pesada, para luego llevarlo al horno con una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  con tiempo 24 horas. De esa manera determinamos la cantidad de humedad. Este procedimiento se repite nuevamente para lograr 3 puntos a diferentes contenidos de humedad, en los rangos de 5 a 15 golpes, 15 a 25 golpes, 25 a 35 golpes.

Finalmente se anotaron los datos y se graficaron con respecto a la relación entre el número de golpes y el porcentaje de humedad, correspondientemente se trazará una línea recta que pase por los tres puntos graficados, y se tomará la interacción de las líneas con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo.

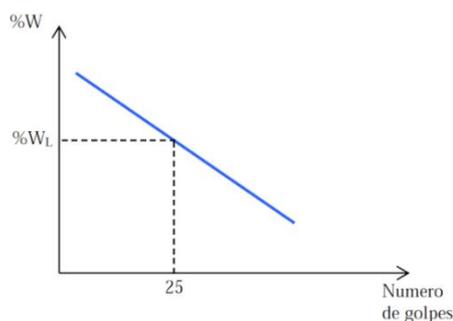


Figura 17: Relación entre el porcentaje y el número de golpes

Tabla 8: Plantilla de datos de límite líquido

| N° de lata                      | M1 | M2 | M3 |
|---------------------------------|----|----|----|
| Peso de suelo húmedo + lata (g) |    |    |    |
| Peso de suelo seco + lata (g)   |    |    |    |
| Peso de la lata (g)             |    |    |    |
| Peso de suelo seco (g)          |    |    |    |
| Humedad (%)                     |    |    |    |
| N° de golpes                    |    |    |    |
| LL (%)                          |    |    |    |

### Límite Plástico

Se tomará aproximadamente entre 15 a 20 g de la muestra con agua, luego se amasará hasta formarse con facilidad una esferita con la masa de suelo, después se rola la mezcla con los dedos de la mano, sobre una placa de vidrio para formar una varilla de diámetro de 3 mm (1/8") y 10 cm de longitud.

Luego se coloca la varilla en un recipiente previamente pesado ( $W_1$ ), para luego llevarlo al horno con una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  durante 24 horas. Pasado el tiempo se retiró del horno, se esperó que se enfrié, para poder obtener el peso de la muestra seca ( $W_2$ ). El contenido de agua, se obtuvo con la fórmula de la humedad, que será el límite plástico. El IP es la diferencia entre los límites (límites plásticos y límites líquidos) los rangos son:  $IP < 10$ , no plástico;  $10 \leq IP \leq 20$ , plástico;  $IP \geq 20$ , muy plástico.

$$LP = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_t} \times 100$$

Dónde:

LP= Límite plástico (%)

$W_1$ =Peso del recipiente más muestra húmeda (g)

$W_2$ =Peso del recipiente más muestra secada en horno (g)

$W_t$ =Peso del recipiente (g)

Tabla 9: Plantilla de datos de limite plástico

| N° de lata                      | M1 | M2 | M3 |
|---------------------------------|----|----|----|
| Peso de suelo húmedo + lata (g) |    |    |    |
| Peso de suelo seco + lata (g)   |    |    |    |
| Peso de la lata (g)             |    |    |    |
| Peso de suelo seco (g)          |    |    |    |
| Humedad (%)                     |    |    |    |
| LP (%)                          |    |    |    |

#### A.5. Materia Orgánica (ASSHTO T267)

La muestra se colocará en un recipiente y se pondrá a secar en el horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  por 24 horas, luego que la muestra está seca, se coloca es un crisol previamente tarado (C), se coloca de 10 a 40g de muestra aproximadamente. La muestra con el crisol (A) se lleva al horno con una temperatura de  $450 \pm 5^\circ\text{C}$  por 4 horas. finalmente se retirará, se dejará enfriar y se tomará el peso con una balanza de aproximación a 0.01 g (B).

$$\%MO = \frac{A-B}{B-C} \times 100$$

Donde:

A= Peso del crisol más suelo seco al horno antes de la ignición

B= Peso del crisol más suelo seco después de la ignición

C= Peso del crisol

Tabla 10: Plantilla de datos de la materia orgánica

| Descripción                                     | Und. | M1 | M2 | M3 |
|---|------|----|----|----|
| Peso del recipiente ( $W_1$ )                   | g    |    |    |    |
| Peso del recipiente + muestra humedad ( $W_1$ ) | g    |    |    |    |
| Peso del recipiente + muestra seca ( $W_2$ )    | g    |    |    |    |
| Materia orgánica (%)                            |      |    |    |    |
| Promedio de materia orgánica (%)                |      |    |    |    |

Tabla 11: Clasificación de suelo de acuerdo a su materia orgánica

| Suelos                | %     |
|-----------------------|-------|
| Altamente orgánico    | 4 >   |
| Medianamente orgánico | 2 - 4 |
| Bajamente orgánico    | 0 - 2 |

#### A.6. Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM C128)

Se sumergió el material durante 24 horas. Luego se procedió a secar una fracción del material en una estufa a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ , hasta obtener un material superficialmente seca. Una vez obtenido la muestra superficialmente seca, se colocó el agregado fino en un cono de diámetro inferior y diámetro superior de 90 mm y 40 mm respectivamente, en 3 capas aplicando 25 apisonadas con un pisón de un peso de 340 gramos y con un diámetro de 25 mm. Después se limpia el excedente a su alrededor, para luego levantar el molde verticalmente y observar el comportamiento del material, si se desmorona la tercera parte, entonces la muestra a llegado al estado superficialmente seco. Posteriormente se pesa la fiola o picnómetro (M), se llena la fiola con agua hasta la marcación de 500 ml (B), se bota el agua y se llena con la muestra obtenida del cono y se toma el peso del mismo (N), seguidamente se lleva la fiola con la muestra más agua a la cámara de vacíos por 15 minutos aproximadamente y así poder eliminar las burbujas (C). Por último, se llevó la muestra humedad al horno con una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 24 horas para determinar su peso seco al horno (A). El peso específico su valor para agregador normales oscila entre  $2.5 \text{ g/cm}^3$  y  $2.75 \text{ g/cm}^3$ , ligeros  $< 2.5 \text{ g/cm}^3$  y pesado  $> 2.75 \text{ g/cm}^3$ . El peso específico y absorción se determina mediante las siguientes formulas.

$$\text{Densidad Seca} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Densidad Saturada Superficialmente Seca (S.S.S)} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción} = \left( \frac{S - A}{A} \right) \times 100 (\%)$$

Donde:

M= Peso de la fiola (g)

B= Peso de la fiola + agua (g)

$N$  = Peso de la fiola + muestra (g)

$C$  = Peso de la fiola + agua + muestra (g)

$A$  = Peso de la muestra seca al horno (g)

$S = N - M$  = Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)

#### A.7. Gravedad específica (ASTM C128)

La muestra se colocó al horno con una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ , durante 24 horas, luego se tomó entre 50 a 130 gr de muestra seca ( $W_0$ ). La cantidad dependerá de la capacidad de la fiola y al tipo de suelo.

Se tomará el peso de la fiola más el agua hasta la línea de aforo ( $W_2$ ), luego se vaciará toda el agua, para así, colocar la muestra en la fiola, teniendo cuidado que la muestra no se quede pegado en las paredes, se le añade agua, que tendrá un nivel entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  de la profundidad del cuerpo principal de la fiola, donde se le tendrá que tomar la temperatura. Después se llevará la fiola a la bomba de vacíos, donde estará aproximadamente 10 minutos para extraer todo el aire contenido. Se retirará la fiola de la bomba de vacíos cuando haya dejado de burbujear, para luego llenar con agua hasta la línea de aforo ( $W_1$ ), para así ir repitiendo el mismo procedimiento para las otras dos fiolas.

$$G_s = \frac{W_0 \times K}{(W_0 + W_2 - W_1)}$$

$W_0$  = Peso del suelo seco

$W_1$  = Peso de fiola + agua + suelo (g)

$W_2$  = Peso de fiola más agua a la temperatura del ensayo (g)

$K$  = Factor de corrección por temperatura del agua de ensayo obtenido de las curvas de calibración (tabla 14)

Tabla 13: Clasificación de suelos de acuerdo a su gravedad específica (Bardet, 1997)

| Suelos                      | G <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Cenizas volcánicas          | 2.20 – 2.50                         |
| Suelos orgánicos            | 2.50 – 2.65                         |
| Arenas y gravas             | 2.65 – 2.67                         |
| Limos inorgánicos           | 2.67 – 2.72                         |
| Arcillas poco plásticas     | 2.72 – 2.78                         |
| Arcillas muy plásticas      | 2.78 – 2.84                         |
| Arcillas expansivas         | 2.84 – 2.88                         |
| Suelos con abundante hierro | 3                                   |

Tabla 12: Valores de K de la temperatura para gravedad específica. (ASTM D422)

| Temperatura (°C) | Densidad (g/mL) <sup>a</sup> | Coefficiente Temperatura (K) | Temperatura (°C) | Densidad (g/mL) <sup>b</sup> | Coefficiente Temperatura (K) | Temperatura (°C) | Densidad (g/mL) <sup>b</sup> | Coefficiente Temperatura (K) | Temperatura (°C) | Densidad (g/mL) <sup>b</sup> | Coefficiente Temperatura (K) |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|
| 15,0             | 0,99910                      | 1,00090                      | 16,0             | 0,99895                      | 1,00074                      | 17,0             | 0,99878                      | 1,00057                      | 18,0             | 0,99860                      | 1,00039                      |
| 15,1             | 0,99909                      | 1,00088                      | 16,1             | 0,99893                      | 1,00072                      | 17,1             | 0,99876                      | 1,00055                      | 18,1             | 0,99858                      | 1,00037                      |
| 15,2             | 0,99907                      | 1,00087                      | 16,2             | 0,99891                      | 1,00071                      | 17,2             | 0,99874                      | 1,00054                      | 18,2             | 0,99856                      | 1,00035                      |
| 15,3             | 0,99906                      | 1,00085                      | 16,3             | 0,99890                      | 1,00069                      | 17,3             | 0,99872                      | 1,00052                      | 18,3             | 0,99854                      | 1,00034                      |
| 15,4             | 0,99904                      | 1,00084                      | 16,4             | 0,99888                      | 1,00067                      | 17,4             | 0,99871                      | 1,00050                      | 18,4             | 0,99852                      | 1,00032                      |
| 15,5             | 0,99902                      | 1,00082                      | 16,5             | 0,99886                      | 1,00066                      | 17,5             | 0,99869                      | 1,00048                      | 18,5             | 0,99850                      | 1,00030                      |
| 15,6             | 0,99901                      | 1,00080                      | 16,6             | 0,99885                      | 1,00064                      | 17,6             | 0,99867                      | 1,00047                      | 18,6             | 0,99848                      | 1,00028                      |
| 15,7             | 0,99899                      | 1,00079                      | 16,7             | 0,99883                      | 1,00062                      | 17,7             | 0,99865                      | 1,00045                      | 18,7             | 0,99847                      | 1,00026                      |
| 15,8             | 0,99898                      | 1,00077                      | 16,8             | 0,99881                      | 1,00061                      | 17,8             | 0,99863                      | 1,00043                      | 18,8             | 0,99845                      | 1,00024                      |
| 15,9             | 0,99896                      | 1,00076                      | 16,9             | 0,99879                      | 1,00059                      | 17,9             | 0,99862                      | 1,00041                      | 18,9             | 0,99843                      | 1,00022                      |
| 19,0             | 0,99841                      | 1,00020                      | 20,0             | 0,99821                      | 1,00000                      | 21,0             | 0,99799                      | 0,99979                      | 22,0             | 0,99777                      | 0,99957                      |
| 19,1             | 0,99839                      | 1,00018                      | 20,1             | 0,99819                      | 0,99998                      | 21,1             | 0,99797                      | 0,99977                      | 22,1             | 0,99775                      | 0,99954                      |
| 19,2             | 0,99837                      | 1,00016                      | 20,2             | 0,99816                      | 0,99996                      | 21,2             | 0,99795                      | 0,99974                      | 22,2             | 0,99773                      | 0,99952                      |
| 19,3             | 0,99835                      | 1,00014                      | 20,3             | 0,99814                      | 0,99994                      | 21,3             | 0,99793                      | 0,99972                      | 22,3             | 0,99771                      | 0,99950                      |
| 19,4             | 0,99833                      | 1,00012                      | 20,4             | 0,99812                      | 0,99992                      | 21,4             | 0,99791                      | 0,99970                      | 22,4             | 0,99769                      | 0,99947                      |
| 19,5             | 0,99831                      | 1,00010                      | 20,5             | 0,99810                      | 0,99990                      | 21,5             | 0,99789                      | 0,99968                      | 22,5             | 0,99766                      | 0,99945                      |
| 19,6             | 0,99829                      | 1,00008                      | 20,6             | 0,99808                      | 0,99987                      | 21,6             | 0,99786                      | 0,99966                      | 22,6             | 0,99764                      | 0,99943                      |
| 19,7             | 0,99827                      | 1,00006                      | 20,7             | 0,99806                      | 0,99985                      | 21,7             | 0,99784                      | 0,99963                      | 22,7             | 0,99761                      | 0,99940                      |
| 19,8             | 0,99825                      | 1,00004                      | 20,8             | 0,99804                      | 0,99983                      | 21,8             | 0,99782                      | 0,99961                      | 22,8             | 0,99759                      | 0,99938                      |
| 19,9             | 0,99823                      | 1,00002                      | 20,9             | 0,99802                      | 0,99981                      | 21,9             | 0,99780                      | 0,99959                      | 22,9             | 0,99756                      | 0,99936                      |
| 23,0             | 0,99754                      | 0,99933                      | 24,0             | 0,99730                      | 0,99909                      | 25,0             | 0,99705                      | 0,99884                      | 26,0             | 0,99679                      | 0,99858                      |
| 23,1             | 0,99752                      | 0,99931                      | 24,1             | 0,99727                      | 0,99907                      | 25,1             | 0,99702                      | 0,99881                      | 26,1             | 0,99676                      | 0,99855                      |
| 23,2             | 0,99749                      | 0,99929                      | 24,2             | 0,99725                      | 0,99904                      | 25,2             | 0,99700                      | 0,99879                      | 26,2             | 0,99673                      | 0,99852                      |
| 23,3             | 0,99747                      | 0,99926                      | 24,3             | 0,99723                      | 0,99902                      | 25,3             | 0,99697                      | 0,99876                      | 26,3             | 0,99671                      | 0,99850                      |
| 23,4             | 0,99745                      | 0,99924                      | 24,4             | 0,99720                      | 0,99899                      | 25,4             | 0,99694                      | 0,99874                      | 26,4             | 0,99668                      | 0,99847                      |
| 23,5             | 0,99742                      | 0,99921                      | 24,5             | 0,99717                      | 0,99897                      | 25,5             | 0,99692                      | 0,99871                      | 26,5             | 0,99665                      | 0,99844                      |
| 23,6             | 0,99740                      | 0,99919                      | 24,6             | 0,99715                      | 0,99894                      | 25,6             | 0,99689                      | 0,99868                      | 26,6             | 0,99663                      | 0,99842                      |
| 23,7             | 0,99737                      | 0,99917                      | 24,7             | 0,99712                      | 0,99892                      | 25,7             | 0,99687                      | 0,99866                      | 26,7             | 0,99660                      | 0,99839                      |
| 23,8             | 0,99735                      | 0,99914                      | 24,8             | 0,99710                      | 0,99889                      | 25,8             | 0,99684                      | 0,99863                      | 26,8             | 0,99657                      | 0,99836                      |
| 23,9             | 0,99732                      | 0,99912                      | 24,9             | 0,99707                      | 0,99887                      | 25,9             | 0,99681                      | 0,99860                      | 26,9             | 0,99654                      | 0,99833                      |
| 27,0             | 0,99652                      | 0,99831                      | 28,0             | 0,99624                      | 0,99803                      | 29,0             | 0,99595                      | 0,99774                      | 30,0             | 0,99565                      | 0,99744                      |
| 27,1             | 0,99649                      | 0,99828                      | 28,1             | 0,99621                      | 0,99800                      | 29,1             | 0,99592                      | 0,99771                      | 30,1             | 0,99562                      | 0,99741                      |
| 27,2             | 0,99646                      | 0,99825                      | 28,2             | 0,99618                      | 0,99797                      | 29,2             | 0,99589                      | 0,99768                      | 30,2             | 0,99559                      | 0,99738                      |
| 27,3             | 0,99643                      | 0,99822                      | 28,3             | 0,99615                      | 0,99794                      | 29,3             | 0,99586                      | 0,99765                      | 30,3             | 0,99556                      | 0,99735                      |
| 27,4             | 0,99641                      | 0,99820                      | 28,4             | 0,99612                      | 0,99791                      | 29,4             | 0,99583                      | 0,99762                      | 30,4             | 0,99553                      | 0,99732                      |
| 27,5             | 0,99638                      | 0,99817                      | 28,5             | 0,99609                      | 0,99788                      | 29,5             | 0,99580                      | 0,99759                      | 30,5             | 0,99550                      | 0,99729                      |
| 27,6             | 0,99635                      | 0,99814                      | 28,6             | 0,99607                      | 0,99785                      | 29,6             | 0,99577                      | 0,99756                      | 30,6             | 0,99547                      | 0,99726                      |
| 27,7             | 0,99632                      | 0,99811                      | 28,7             | 0,99604                      | 0,99783                      | 29,7             | 0,99574                      | 0,99753                      | 30,7             | 0,99544                      | 0,99723                      |
| 27,8             | 0,99629                      | 0,99808                      | 28,8             | 0,99601                      | 0,99780                      | 29,8             | 0,99571                      | 0,99750                      | 30,8             | 0,99541                      | 0,99720                      |
| 27,9             | 0,99627                      | 0,99806                      | 28,9             | 0,99598                      | 0,99777                      | 29,9             | 0,99568                      | 0,99747                      | 30,9             | 0,99538                      | 0,99716                      |

### A.8. Ensayos de análisis químicos

Para el ensayo se necesitó el equipo multiparámetro HW Kessel, donde se analizaron la arena, arcilla-limo, cal y fibras naturales.

Para ello se usa vasos de precipitaciones con una capacidad de 250 ml, en una relación 2:1 (agua destilada: material), se realiza 3 réplicas para cada material, se procede a sellarlo para que no pueda ingresar ninguna partícula y dejar reposar por un tiempo mínimo de 3 días (72 h).

Finalmente se llevó al equipo para tomar las lecturas (pH y conductividad)

La medida de basicidad o acidez de nuestros agregados se determinó mediante la toma del pH.

Tabla 14: Categorías de los diferentes pH de Suelos. (U.S.D.A.)

| <b>pH</b> | <b>Clasificación</b> |
|-----------|----------------------|
| <4.5      | Extremadamente ácido |
| 4.5-5.5   | Fuertemente ácido    |
| 5.6-6.0   | Medianamente ácido   |
| 6.1-6.5   | Ligeramente ácido    |
| 6.6-7.3   | Neutro               |
| 7.4-7.8   | Medianamente básico  |
| 7.9-8.4   | Básico               |
| 8.5-9.0   | Ligeramente alcalino |
| 9.1-10    | Alcalino             |
| >10       | Fuertemente alcalino |

Tabla 15: Clasificación de suelos de acuerdo a su conductividad.

| <b>Suelos</b>          | <b>CE (dS/m)</b> |
|------------------------|------------------|
| Normales               | 0 – 2            |
| Ligeramente salinos    | 2 – 4            |
| Salinos                | 4 – 8            |
| Fuertemente salinos    | 8 – 16           |
| Extremadamente salinos | >16              |

## 2.4.2. Dosificación, curado y preparación

### Patrón

Se mezcló en un recipiente suelo fino y arena gruesa en una relación 1:3 respectivamente. Se le agregó 5 % de cal y un 18 % de agua al total (suelo finos y arena gruesa) que fueron constantes.

Homogenizando la mezcla, se colocó en un espacio cúbico de molde rectangular en 3 capas, apisonando cada capa hasta llenar. De igual manera se realizó para moldes de PVC circulares.

### Tipos, tamaños y porcentajes de fibra natural

Se le agregó dos tipos de fibras naturales (paja de trigo y cabuya), a la vez, con diferentes tamaños (15 mm, 30 mm y 45 mm) y porcentajes con respecto a la arena gruesa y al suelo fino (0%, 0.3%, 0.6%, 0.9% y 1.2%).

### Curado

Las probetas rectangulares y circulares después de desmoldarse, se dejó bajo sombra, se les tomó su peso inicial, conforme pasaban los días se le tomaba el peso, hasta llegar a un peso constante, de esta manera saber que ya estaban completamente secas, lo cual tomó un tiempo de 3 semanas aproximadamente. Las probetas que contenían más porcentaje de fibra demoraban más en secar, tomando en cuenta que fue en el periodo de verano.

## 2.4.3. Ensayos mecánicos

### A. Resistencia a la compresión (NTP E.080\_2017)

Para el ensayo se utilizaron las probetas cúbicas de 50 x 50 x 50 mm. Después del tiempo de secado de las probetas, se marcó cada espécimen de manera que puedan ser identificados. Se procedió a limpiar y medir el área (A) (largo y ancho) donde se aplicó la carga, con una regla metálica de sensibilidad de 0.1 mm. Luego la probeta se llevó a colocar a la máquina universal automática de ensayos de compresión modelo UNIFRAME de la marca CONTROLS, la cual tiene una capacidad de carga máxima de 50 kN. La velocidad usada fue la mínima de 50 N/s, donde nos arroja las fuerzas y desplazamiento máximas que tiene la probeta por medio de un USB. La resistencia a la compresión se determinará mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde:

$\sigma$  = Resistencia a compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

F = Fuerza aplicada (kgf)

A = Área sobre la que se aplica la fuerza (largo x ancho) (cm<sup>2</sup>)

Tabla 16: Plantilla de datos para la resistencia a la compresión

| Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) |            |   |            |   |                     |                     |                         |              |  |
|--|------------|---|------------|---|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------|--|
| Muestras                                       | Largo (mm) |   | Ancho (mm) |   | Promedio largo (mm) | Promedio ancho (mm) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Fuerza (Kgf) | Resistencia a compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|  | 1          | 2 | 1          | 2 |                     |                     |                         |              |  |
| M1   |            |   |            |   |                     |                     |                         |              |  |
| M2   |            |   |            |   |                     |                     |                         |              |  |
| M3   |            |   |            |   |                     |                     |                         |              |  |
| M4   |            |   |            |   |                     |                     |                         |              |  |
|  |            |   |            |   | Promedio            |                     |                         |              |  |

#### 2.4.4. Ensayo físico

##### A. Contracción

La contracción está en función del material que se emplea, donde experimenta un proceso de endurecimiento y secado. Para ello se realizó probetas cilíndricas de 75 x 20 mm. Conformadas las probetas (V<sub>I</sub>) sobre una base plana, se extrajo los moldes; luego, se tomó las medidas de las probetas (altura y diámetro) y el peso de cada una, en una balanza digital con precisión de ± 0.01 mm.

Terminado el secado de las probetas (V<sub>F</sub>), se registró sus dimensiones (alturas y diámetros) y pesos. La muestra como resultado de la pérdida de humedad, quedara reducida en volumen. Las medidas que se toman es el volumen inicial antes de perder humedad y después que ha perdido toda su humedad. El volumen inicial es cuando la probeta está en estado fresco y el volumen final, es cuando la probeta está seca.

$$\% \text{ Contracción volumetrica} = \frac{V_I - V_F}{V_I} \times 100$$

$$\% \text{ Contracción diametral} = \frac{D_I - D_F}{D_I} \times 100$$

$$\% \text{ Contracción lineal} = \frac{H_I - H_F}{H_I} \times 100$$

Donde:

$V_I$  = Volumen inicial ( $\text{mm}^3$ )

$V_F$  = Volumen final ( $\text{mm}^3$ )

$D_I$  = Diámetro inicial ( $\text{mm}^3$ )

$D_F$  = Diámetro final ( $\text{mm}^3$ )

$H_I$  = Altura inicial ( $\text{mm}^3$ )

$H_F$  = Altura final ( $\text{mm}^3$ )

Tabla 17: Plantilla de datos para el ensayo de contracción

| Muestras | Contracción % |        |          |        |                           |       |                            |                         |                             |
|----------|---------------|--------|----------|--------|---------------------------|-------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|          | Medidas (mm)  |        |          |        | Volumen ( $\text{mm}^3$ ) |       | Contracción diametral (mm) | Contracción lineal (mm) | Contracción Volumétrica (%) |
|          | Iniciales     |        | Finales  |        | Inicial                   | Final |                            |                         |                             |
|          | Diámetro      | Altura | Diámetro | Altura |                           |       |                            |                         |                             |
| M1       |               |        |          |        |                           |       |                            |                         |                             |
| M2       |               |        |          |        |                           |       |                            |                         |                             |
| M3       |               |        |          |        |                           |       |                            |                         |                             |
| M4       |               |        |          |        |                           |       |                            |                         |                             |

## B. Durabilidad

Se utilizó para este ensayo probetas cúbicas de 50 x 50 x 50 mm. Se registró todos los pesos en estado seco ( $P_I$ ) en una balanza con una sensibilidad de 0.1g. Se sumergieron bajo agua, en distintos periodos (10 minutos, 24 horas y 48 horas). Luego se extrajeron las probetas y se las dejó secar al aire libre, para luego colocarlo en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  por 24 horas para que este en un estado completamente seco; se tomaron los pesos finales ( $P_F$ ). Con los pesos iniciales y finales se obtendrá la pérdida de masa que tiene la probeta.

$$\% \text{ Pérdida de pesos} = \frac{P_I - P_F}{P_I} \times 100$$

Donde:

$P_I$  = Peso inicial (g)

$P_F$  = Peso final (g)

Tabla 18: Plantilla de datos para el ensayo de durabilidad

| Muestras | Fibra natural | Pesos Iniciales (g) | Pesos después de dos días en el agua (g) | Pérdida de masa (g) | % Pérdida de masa |
|----------|---------------|---------------------|--|---------------------|-------------------|
| M1       |               |                     |  |                     |                   |
| M2       |               |                     |  |                     |                   |
| M3       |               |                     |  |                     |                   |

#### 2.4.5. Métodos y procedimientos de análisis de datos.

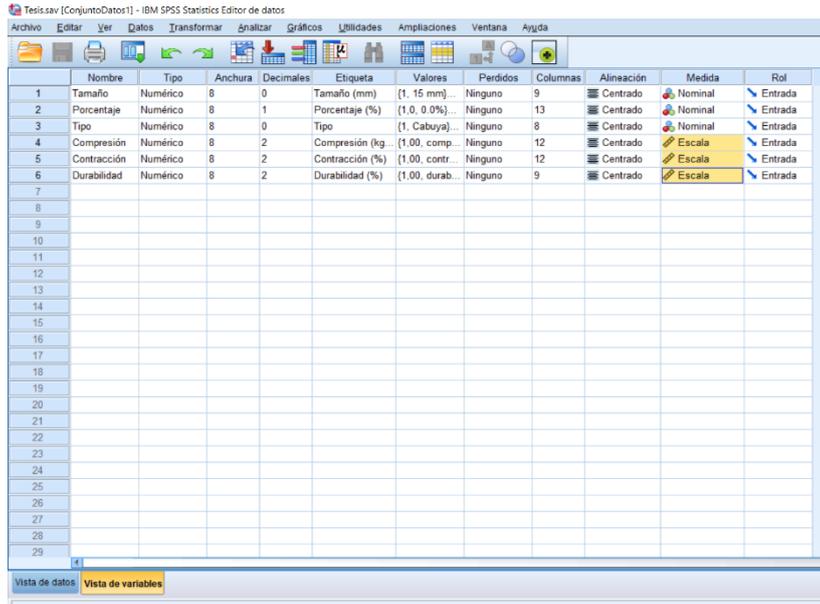
##### A. Método de análisis de datos

El análisis estadístico de datos se realizará con el método de inferencia estadística, ya que, a partir de la información obtenida por muestra, permite ver el comportamiento de la población específica con un margen de error medible en probabilidad.

##### B. Prueba de normalidad

La prueba de normalidad se realizará mediante el software SPSS, es necesario identificar las variables independientes y dependientes para realizar el análisis.

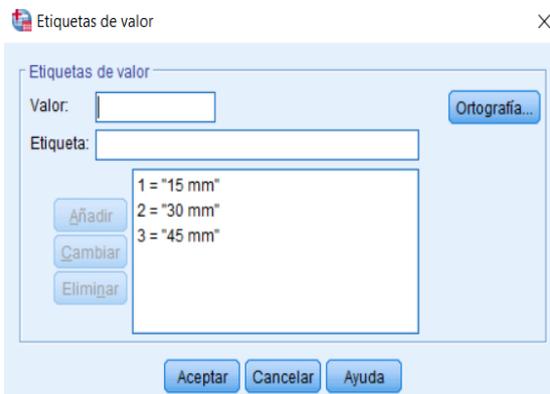
- Se ingresarán los datos de las variables dependientes e independientes, especificando la medida tipo escala para las variables dependientes que se van a analizar.



|    | Nombre      | Tipo     | Anchura | Decimales | Etiqueta        | Valores           | Perdidos | Columnas | Alineación | Medida  | Rol     |
|----|-------------|----------|---------|-----------|-----------------|-------------------|----------|----------|------------|---------|---------|
| 1  | Tamaño      | Númerico | 8       | 0         | Tamaño (mm)     | {1, 15 mm}...     | Ninguno  | 9        | Centrado   | Nominal | Entrada |
| 2  | Porcentaje  | Númerico | 8       | 1         | Porcentaje (%)  | {1, 0, 0 0%}...   | Ninguno  | 13       | Centrado   | Nominal | Entrada |
| 3  | Tipo        | Númerico | 8       | 0         | Tipo            | {1, Cabuya}...    | Ninguno  | 8        | Centrado   | Nominal | Entrada |
| 4  | Compresión  | Númerico | 8       | 2         | Compresión (kg) | {1, 00, comp...}  | Ninguno  | 12       | Centrado   | Escala  | Entrada |
| 5  | Contracción | Númerico | 8       | 2         | Contracción (%) | {1, 00, contr...} | Ninguno  | 12       | Centrado   | Escala  | Entrada |
| 6  | Durabilidad | Númerico | 8       | 2         | Durabilidad (%) | {1, 00, durab...} | Ninguno  | 9        | Centrado   | Escala  | Entrada |
| 7  |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 8  |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 9  |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 10 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 11 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 12 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 13 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 14 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 15 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 16 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 17 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 18 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 19 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 20 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 21 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 22 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 23 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 24 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 25 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 26 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 27 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 28 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |
| 29 |             |          |         |           |                 |                   |          |          |            |         |         |

Figura 18: Ingreso de datos en el SPSS

- En la columna de valores se colocarán una especie de códigos para cada variable independiente.



Etiquetas de valor

Valor:

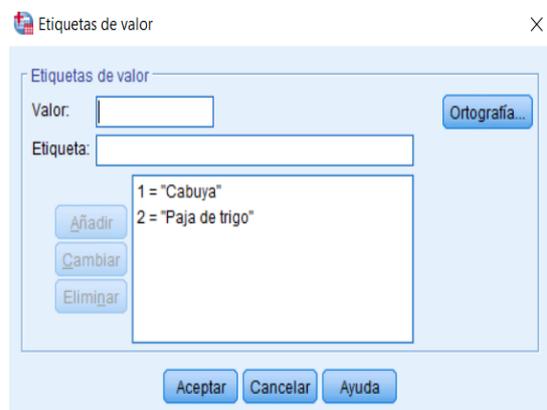
Etiqueta:

1 = "15 mm"  
2 = "30 mm"  
3 = "45 mm"

Añadir  
Cambiar  
Eliminar

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 19: Valores para los tamaños de fibra



Etiquetas de valor

Valor:

Etiqueta:

1 = "Cabuya"  
2 = "Paja de trigo"

Añadir  
Cambiar  
Eliminar

Aceptar Cancelar Ayuda

Figura 20: Valores para los tipos de fibra

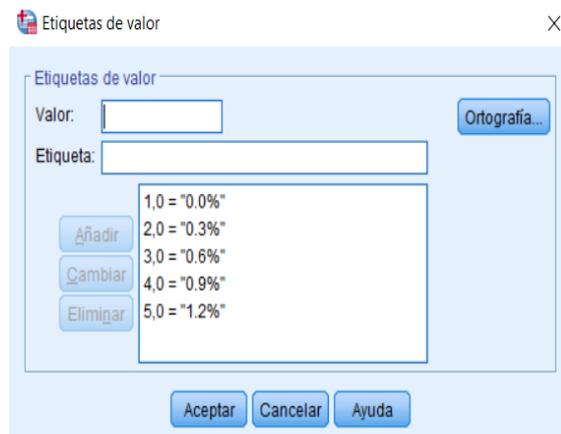


Figura 21: Valores para los porcentajes de fibra

- Luego se pasa a vista de datos y se ingresaran los códigos asignados para cada variable independiente y en los ensayos se colocaron los resultados de la investigación

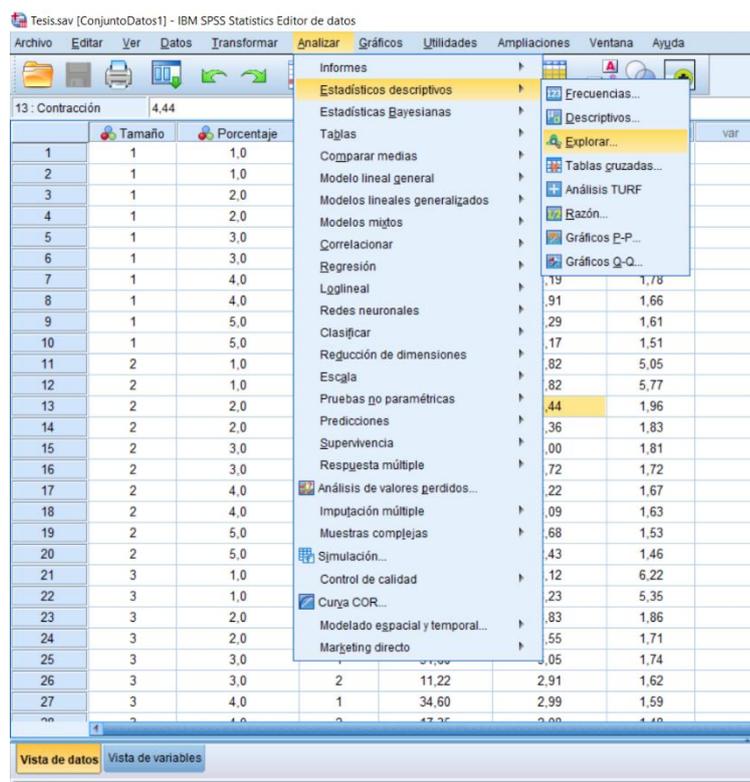
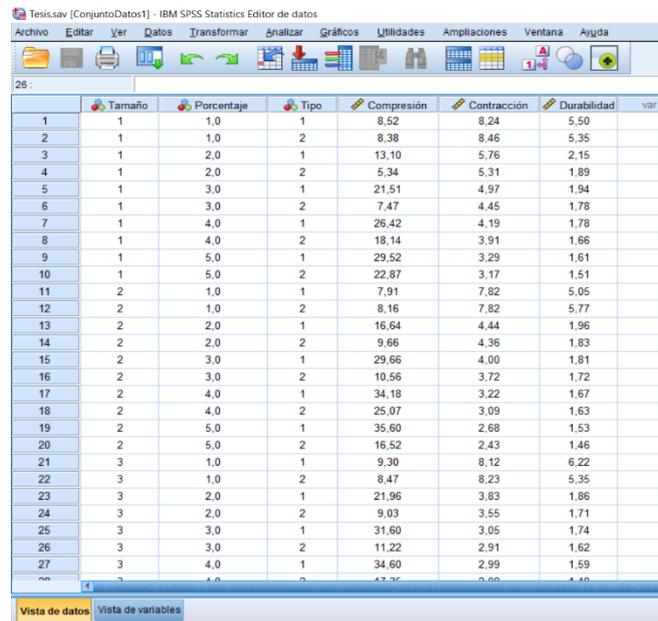


Figura 22: Ingreso de valores en vista de datos

- Para realizar la prueba de normalidad de una variable dependiente se siguen los siguientes pasos.



|    | Tamaño | Porcentaje | Tipo | Compresión | Contracción | Durabilidad | var |
|----|--------|------------|------|------------|-------------|-------------|-----|
| 1  | 1      | 1,0        | 1    | 8,52       | 8,24        | 5,50        |     |
| 2  | 1      | 1,0        | 2    | 8,38       | 8,46        | 5,35        |     |
| 3  | 1      | 2,0        | 1    | 13,10      | 5,76        | 2,15        |     |
| 4  | 1      | 2,0        | 2    | 5,34       | 5,31        | 1,89        |     |
| 5  | 1      | 3,0        | 1    | 21,51      | 4,97        | 1,94        |     |
| 6  | 1      | 3,0        | 2    | 7,47       | 4,45        | 1,78        |     |
| 7  | 1      | 4,0        | 1    | 26,42      | 4,19        | 1,78        |     |
| 8  | 1      | 4,0        | 2    | 18,14      | 3,91        | 1,66        |     |
| 9  | 1      | 5,0        | 1    | 29,52      | 3,29        | 1,61        |     |
| 10 | 1      | 5,0        | 2    | 22,87      | 3,17        | 1,51        |     |
| 11 | 2      | 1,0        | 1    | 7,91       | 7,82        | 5,05        |     |
| 12 | 2      | 1,0        | 2    | 8,16       | 7,82        | 5,77        |     |
| 13 | 2      | 2,0        | 1    | 16,64      | 4,44        | 1,96        |     |
| 14 | 2      | 2,0        | 2    | 9,66       | 4,36        | 1,83        |     |
| 15 | 2      | 3,0        | 1    | 29,66      | 4,00        | 1,81        |     |
| 16 | 2      | 3,0        | 2    | 10,56      | 3,72        | 1,72        |     |
| 17 | 2      | 4,0        | 1    | 34,18      | 3,22        | 1,67        |     |
| 18 | 2      | 4,0        | 2    | 25,07      | 3,09        | 1,63        |     |
| 19 | 2      | 5,0        | 1    | 35,60      | 2,68        | 1,53        |     |
| 20 | 2      | 5,0        | 2    | 16,52      | 2,43        | 1,46        |     |
| 21 | 3      | 1,0        | 1    | 9,30       | 8,12        | 6,22        |     |
| 22 | 3      | 1,0        | 2    | 8,47       | 8,23        | 5,35        |     |
| 23 | 3      | 2,0        | 1    | 21,96      | 3,83        | 1,86        |     |
| 24 | 3      | 2,0        | 2    | 9,03       | 3,55        | 1,71        |     |
| 25 | 3      | 3,0        | 1    | 31,60      | 3,05        | 1,74        |     |
| 26 | 3      | 3,0        | 2    | 11,22      | 2,91        | 1,62        |     |
| 27 | 3      | 4,0        | 1    | 34,60      | 2,99        | 1,59        |     |
| 28 | 3      | 4,0        | 2    | 17,35      | 2,88        | 1,48        |     |

Figura 23: Pasos a seguir para realizar una prueba de normalidad

- Luego de dar click en explorar, se obtiene la figura 25, donde la lista de dependientes se colocara el ensayo a analizar y en la cajilla de factores se colocara las variables independientes.



Figura 24: Proceso para analizar una variable dependiente

- Para finalmente obtener la prueba de normalidad por el análisis de Shapiro Wilk, con una significancia mayor a 0.05 se concluye que la variable dependiente tiene un comportamiento normal.

**Pruebas de normalidad**

|                                  | Tamaño (mm) | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|----------------------------------|-------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
|                                  |             | Estadístico                     | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | 15 mm       | ,209                            | 10 | ,200* | ,917         | 10 | ,332 |
|                                  | 30 mm       | ,200                            | 10 | ,200* | ,874         | 10 | ,112 |
|                                  | 45 mm       | ,174                            | 10 | ,200* | ,851         | 10 | ,060 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 25: Resultado de la significancia de la variable en relación al tamaño

**Pruebas de normalidad**

|                                  | Tipo          | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|----------------------------------|---------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
|                                  |               | Estadístico                     | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Cabuya        | ,177                            | 15 | ,200* | ,888         | 15 | ,063 |
|                                  | Paja de trigo | ,208                            | 15 | ,079  | ,900         | 15 | ,094 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 26: Resultado de la significancia de la variable en relación al tipo

**Pruebas de normalidad**

|                                  | Porcentaje (%) | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |       | Shapiro-Wilk |    |      |
|----------------------------------|----------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
|                                  |                | Estadístico                     | gl | Sig.  | Estadístico  | gl | Sig. |
| Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | 0.0%           | ,280                            | 6  | ,155  | ,907         | 6  | ,419 |
|                                  | 0.3%           | ,190                            | 6  | ,200* | ,966         | 6  | ,868 |
|                                  | 0.6%           | ,263                            | 6  | ,200* | ,874         | 6  | ,244 |
|                                  | 0.9%           | ,198                            | 6  | ,200* | ,887         | 6  | ,300 |
|                                  | 1.2%           | ,187                            | 6  | ,200* | ,892         | 6  | ,328 |

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 27: Resultado de la significancia de la variable en relación al porcentaje

### C. Prueba de Fisher

Los resultados obtenidos durante el proceso de los ensayos a las probetas corroboraran las hipótesis planteadas mediante un análisis de varianza con el ANOVA.

## Datos previos

### C.1. Grados de libertad

Grado de libertad de la variable tamaño de fibra (A)

$$G.L. = a - 1$$

Grado de libertad de la variable porcentaje de fibra (B)

$$G.L. = b - 1$$

Grado de libertad de la variable tipo de fibra (C)

$$G.L. = c - 1$$

Grado de libertad de las variables conjugadas (A x C)

$$G.L. = (a - 1) \times (c - 1)$$

Grado de libertad de las variables conjugadas (B x C)

$$G.L. = (b - 1) \times (c - 1)$$

Grado de libertad de las variables conjugadas (A x B)

$$G.L. = (a - 1) \times (b - 1)$$

Grado de libertad de las variables conjugadas (A x B x C)

$$G.L. = (a - 1) \times (b - 1) \times (c - 1)$$

Grado de libertad del error

$$G.L. = (a \times b \times c) \times (n - 1)$$

Donde

a = Número de niveles de la variable (A)

b = Número de niveles de la variable (B)

c = Número de niveles de la variable (C)

n = Número de replicas

### C.2. Nivel de significancia

La significancia se trabajó con un 95% como nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ), un intervalo que nos permiten aproximar.

### C.3. Criterio de rechazo

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F_0 > f_{\alpha; v_1, v_2}$

$$v_1 = a - 1$$

$$v_2 = a(n - 1)$$

donde:

$a = b = c =$  Número de niveles

$n =$  Número de replica

### C.4. Análisis de varianza y F de Fisher

#### Suma de cuadrados

- Factor A

$$SS_A = \frac{\sum_i Y_i^2}{bxcn} - \frac{Y_T^2}{axbxcn}$$

- Factor B

$$SS_B = \frac{\sum_j Y_j^2}{axcn} - \frac{Y_T^2}{axbxcn}$$

- Factor C

$$SS_C = \frac{\sum_k Y_k^2}{abxn} - \frac{Y_T^2}{axbxcn}$$

- Interacción de factores (A x B)

$$SS_{AB} = \frac{\sum_{ij} Y_{ij}^2}{c \times n} - \frac{Y^2}{a \times b \times c \times n} - SS_A - SS_B$$

- Interacción de factores (A x C)

$$SS_{AC} = \frac{\sum_{ik} Y_{ik}^2}{b \times n} - \frac{Y^2}{a \times b \times c \times n} - SS_A - SS_C$$

- Interacción de factores (B x C)

$$SS_{BC} = \frac{\sum_{jk} Y_{jk}^2}{a \times n} - \frac{Y^2}{a \times b \times c \times n} - SS_B - SS_C$$

- Interacción de factores (A x B x C)

$$SS_{ABC} = \frac{\sum_{ijk} Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y^2}{a \times b \times c \times n} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

- Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{ijkl} Y_{ijkl}^2 - \frac{Y^2}{a \times b \times c \times n}$$

- Calculo para el error

$$SS_{ERROR} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} - SS_{ABC}$$

### Media de cuadrados

- Factor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$$

- Factor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$$

- Factor C

$$MS_C = \frac{SS_C}{c-1}$$

- Interacción de factores A x B

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a-1)x(b-1)}$$

- Interacción de factores A x C

$$MS_{AxC} = \frac{SS_{AxC}}{(a-1)x(c-1)}$$

- Interacción de factores B x C

$$MS_{BxC} = \frac{SS_{BxC}}{(b-1)x(c-1)}$$

- Interacción de factores A x B x C

$$MS_{AxBxC} = \frac{SS_{AxBxC}}{(a-1)x(b-1)x(c-1)}$$

- Cálculo para el error

$$MS_E = \frac{SS_{ERROR}}{(abc)x(n-1)}$$

### **F<sub>0</sub> experimental**

- F<sub>0</sub>(A)

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub>(B)

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub>(C)

$$F_0(C) = \frac{MS_C}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub>(A x B)

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub>(A x C)

$$F_0(AxC) = \frac{MS_{AxC}}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub>(B x C)

$$F_0(BxC) = \frac{MS_{BxC}}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub>(A x B x C)

$$F_0(AxBxC) = \frac{MS_{AxBxC}}{MS_E}$$

## C.5. Análisis de confiabilidad

### Regla de decisión

$$F_{\text{Experimental}} > F_{\text{Teórico}}$$

Si Fisher  $\leq$  Valor de tabla, se acepta la  $H_0$

Si Fisher  $\geq$  Valor de tabla, se acepta la  $H_1$

Datos previos

$H_1$ : Hipótesis alterna

$H_0$ : Hipótesis nula

La significancia debe pasar los  $\alpha = 0.05$  para que se acepta la hipótesis

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización de materia prima

##### 3.1.1. Caracterización del suelo fino, arena gruesa y cal

Tabla 19: Caracterización física y química del suelo fino

| Ensayo  | Norma                       | Resultado    |
|---|-----------------------------|--------------|
| <b>Granulometría</b>                          | <b>ASTM C136- ASTM D422</b> |              |
| % Grava                                       |                             | 0            |
| % Arena                                       |                             | 23           |
| % Limos y arcillas                            |                             | 77           |
| <b>Humedad (%)</b>                            | <b>ASTM C566</b>            | 2.3          |
| <b>Clasificación</b>                          |                             |              |
| SUCS - grupo                                  |                             | CL-ML        |
| <b>Límites de Atterberg</b>                   | <b>ASTM D4318</b>           |              |
| % Límite Líquido                              |                             | 24           |
| % Límite Plástico                             |                             | 19           |
| % Índice de Plasticidad                       |                             | 5            |
| <b>Gravedad Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>ASTM C 128</b>           | 2.73         |
| <b>Materia Orgánica (%)</b>                   | <b>ASSHTO T267</b>          | 1.2          |
| <b>Análisis químicos</b>                      | <b>NTP 339.176</b>          |              |
| Conductividad (dS/m)                          |                             | 1.7          |
| Salinidad                                     |                             | Suelo Normal |
| pH  |                             | 8            |

Tabla 20: Caracterización física y química de la arena gruesa

| Ensayo                                    | Norma                       | Resultado    |
|---|-----------------------------|--------------|
| <b>Granulometría</b>                      | <b>ASTM C136- ASTM D422</b> |              |
| % Grava                                   |                             | 4            |
| % Arena                                   |                             | 95           |
| % Limos y arcillas                        |                             | 1            |
| Modulo Finura                             |                             | 2.3          |
| <b>Humedad (%)</b>                        | <b>ASTM C566</b>            | 0.8          |
| <b>Peso Específico (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>ASTM C 128</b>           | 2.66         |
| <b>Absorción (%)</b>                      | <b>ASTM C 128</b>           | 2.43         |
| <b>Análisis químicos</b>                  | <b>NTP 339.176</b>          |              |
| Conductividad (dS/m)                      |                             | 0.9          |
| Salinidad                                 |                             | Suelo Normal |
| pH  |                             | 8            |

Tabla 21: Caracterización física y química de la cal

| Ensayo  | Norma                       | Resultado        |
|---|-----------------------------|------------------|
| <b>Granulometría</b>                          | <b>ASTM C136- ASTM D422</b> |                  |
| Modulo Finura                                 |                             | 1.8              |
| <b>Humedad (%)</b>                            | <b>ASTM C566</b>            | 3.6              |
| <b>Gravedad Específica (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>ASTM C 128</b>           | 2.47             |
| <b>Análisis químicos</b>                      | <b>NTP 339.176</b>          |                  |
| Conductividad (dS/m)                          |                             | 9.5              |
| Salinidad                                     |                             | Salinidad Fuerte |
| pH  |                             | 12               |

Tabla 22: Media, varianza, desviación para granulometría del suelo fino

| TAMIZ | Promedio peso que pasa % |           |           |          | Varianza (%) | Desviación Estándar (%) |
|-------|--------------------------|-----------|-----------|----------|--------------|-------------------------|
|       | Muestra A                | Muestra B | Muestra C | Promedio |              |                         |
| 3/8"  | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº4   | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº8   | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº16  | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº30  | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº50  | 99                       | 99        | 99        | 99       | 0.0          | 0.1                     |
| Nº100 | 86                       | 88        | 89        | 87       | 2.7          | 1.6                     |
| Nº200 | 74                       | 76        | 80        | 77       | 7.7          | 2.8                     |
| FONDO | 0                        | 0         | 0         | 0        | 0.0          | 0.0                     |

Tabla 23: Media, varianza, desviación para la caracterización del suelo fino

| Ensayo               | Muestra A | Muestra B | Muestra C | Promedio                  | Varianza               | Desviación Estándar    |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| Contenido de humedad | 2.3       | 2.25      | 2.21      | 2.25 (%)                  | 0 (%)                  | 0 (%)                  |
| Materia Orgánica     | 0.99      | 1.4       | 1.25      | 1.22 (%)                  | 0 (%)                  | 0.2 (%)                |
| Límite Líquido       | 22.5      | 24.1      | 24.7      | 23.77 (%)                 | 1.3 (%)                | 1.1 (%)                |
| Límite Plástico      | 18.92     | 18.18     | 20.34     | 19.15 (%)                 | 1.2 (%)                | 1.1 (%)                |
| Gravedad Específica  | 2.72      | 2.72      | 2.74      | 2.73 (g/cm <sup>3</sup> ) | 0 (g/cm <sup>3</sup> ) | 0 (g/cm <sup>3</sup> ) |

Tabla 24: Clasificación del suelo fino por el método SUCS

| Ensayos                      | Resultado | Simbología | Clasificación  |
|------------------------------|-----------|------------|--|
| <b>Límite líquido</b>        | 24%       |            | Arcilla de baja plasticidad - Limo de baja plasticidad |
| <b>Límite plástico</b>       | 19%       | CL - ML    |  |
| <b>Índice de plasticidad</b> | 5%        |            |  |

Tabla 25: Media, varianza, desviación para granulometría de la arena gruesa

| TAMIZ | Promedio peso que pasa % |           |           |          | Varianza (%) | Desviación Estándar (%) |
|-------|--------------------------|-----------|-----------|----------|--------------|-------------------------|
|       | Muestra A                | Muestra B | Muestra C | Promedio |              |                         |
| 3/8"  | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº4   | 96                       | 96        | 95        | 96       | 0.2          | 0.4                     |
| Nº8   | 80                       | 78        | 82        | 80       | 3.9          | 2.0                     |
| Nº16  | 72                       | 70        | 72        | 71       | 2.0          | 1.4                     |
| Nº30  | 61                       | 58        | 60        | 60       | 2.3          | 1.5                     |
| Nº50  | 51                       | 46        | 50        | 49       | 6.7          | 2.6                     |
| Nº100 | 7                        | 12        | 5         | 8        | 13.9         | 3.7                     |
| Nº200 | 1                        | 1         | 1         | 1        | 0.1          | 0.4                     |
| FONDO | 0                        | 0         | 0         | 0        | 0.0          | 0.0                     |

Tabla 26: Media, varianza, desviación para la caracterización de la arena gruesa

| Ensayo                | Muestra A | Muestra B | Muestra C | Promedio                  | Varianza               | Desviación Estándar    |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| Porcentaje de humedad | 0.72      | 0.72      | 0.88      | 0.77 (%)                  | 0 (%)                  | 0.1 (%)                |
| Peso específico       | 2.66      | 2.65      | 2.66      | 2.66 (g/cm <sup>3</sup> ) | 0 (g/cm <sup>3</sup> ) | 0 (g/cm <sup>3</sup> ) |
| Absorción             | 2.56      | 2.4       | 2.32      | 2.43 (%)                  | 0 (%)                  | 0.1 (%)                |

Tabla 27: Media, varianza, desviación para el análisis granulométrico de la cal

| TAMIZ | Promedio peso que pasa % |           |           |          | Varianza (%) | Desviación Estándar (%) |
|-------|--------------------------|-----------|-----------|----------|--------------|-------------------------|
|       | Muestra A                | Muestra B | Muestra C | Promedio |              |                         |
| 3/8"  | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº4   | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº8   | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº16  | 100                      | 100       | 100       | 100      | 0.0          | 0.0                     |
| Nº30  | 71                       | 72        | 73        | 72       | 0.8          | 0.9                     |
| Nº50  | 37                       | 36        | 47        | 40       | 37.0         | 6.1                     |
| Nº100 | 4                        | 4         | 8         | 6        | 6.7          | 2.6                     |
| Nº200 | 0                        | 0         | 0         | 0        | 0.0          | 0.0                     |
| FONDO | 0                        | 0         | 0         | 0        | 0.0          | 0.0                     |

Tabla 28: Media, varianza, desviación para la caracterización de la cal

| Ensayo                | Muestra A | Muestra B | Muestra C | Promedio                  | Varianza               | Desviación Estándar      |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| Porcentaje de humedad | 3.66      | 3.59      | 3.63      | 3.63 (%)                  | 0 (%)                  | 0 (%)                    |
| Gravedad específica   | 2.5       | 2.38      | 2.53      | 2.47 (g/cm <sup>3</sup> ) | 0 (g/cm <sup>3</sup> ) | 0.1 (g/cm <sup>3</sup> ) |

### 3.1.2. Fibras naturales

#### 3.1.2.1. Caracterización de las fibras naturales

Tabla 29: Caracterización química de la fibra natural

| Ensayo                   | Norma              | Paja de trigo | Cabuya |
|--------------------------|--------------------|---------------|--------|
| <b>Análisis químicos</b> | <b>NTP 339.176</b> |               |        |
| Conductividad (dS/m)     |                    | 0.6           | 0.1    |
| pH                       |                    | 6.6           | 5.6    |

### 3.2. Diseño de mezcla

Tabla 30: Diseño de mezcla para cada ensayo

| Mezcla   | Materia prima               | Compresión y Durabilidad |      | Contracción |
|----------|-----------------------------|--------------------------|------|-------------|
|          |                             | Peso (g)                 |      |             |
| Total    | Suelo fino (limo - arcilla) | 70                       |      | 60          |
|          | Arena gruesa                | 210                      |      | 180         |
| Adición  | Cal (5%)                    | 14                       |      | 12          |
|          | Agua (18%)                  | 50.4                     |      | 43.2        |
| Refuerzo | Fibra Natural               | 0.30                     | 0.84 | 0.72        |
|          | (paja trigo y cabuya)       | 0.60                     | 1.68 | 1.44        |
|          |                             | 0.90                     | 2.52 | 2.16        |
|          |                             | 1.20                     | 3.36 | 2.88        |

### 3.3. Contracción

Tabla 31: Media, varianza, desviación para los datos de contracción

| Fibra         | Tamaños (mm) | Porcentajes (%) | Contracción (%) |      |      | Promedio (%) | Varianza (%) | Desviación Estándar (%) |
|---------------|--------------|-----------------|-----------------|------|------|--------------|--------------|-------------------------|
|               |              |                 | M1              | M2   | M3   |              |              |                         |
| Cabuya        | 15           | 0               | 7.99            | 7.77 | 8.95 | 8.24         | 0.4          | 0.6                     |
|               |              | 0.3             | 5.93            | 5.31 | 6.03 | 5.76         | 0.2          | 0.4                     |
|               |              | 0.6             | 5.21            | 4.79 | 4.91 | 4.97         | 0.0          | 0.2                     |
|               |              | 0.9             | 4.84            | 3.69 | 4.03 | 4.19         | 0.3          | 0.6                     |
|               |              | 1.2             | 3.77            | 3.11 | 2.98 | 3.29         | 0.2          | 0.4                     |
|               | 30           | 0               | 8.13            | 8.28 | 7.05 | 7.82         | 0.5          | 0.7                     |
|               |              | 0.3             | 4.80            | 4.68 | 3.85 | 4.44         | 0.3          | 0.5                     |
|               |              | 0.6             | 4.08            | 3.94 | 3.97 | 4.00         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.9             | 3.66            | 2.88 | 3.12 | 3.22         | 0.2          | 0.4                     |
|               |              | 1.2             | 2.62            | 2.60 | 2.81 | 2.68         | 0.0          | 0.1                     |
|               | 45           | 0               | 7.73            | 8.95 | 7.69 | 8.12         | 0.5          | 0.7                     |
|               |              | 0.3             | 4.08            | 3.76 | 3.64 | 3.83         | 0.1          | 0.2                     |
|               |              | 0.6             | 3.14            | 2.99 | 3.01 | 3.05         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.9             | 3.36            | 2.68 | 2.92 | 2.99         | 0.1          | 0.3                     |
|               |              | 1.2             | 1.59            | 2.40 | 1.47 | 1.82         | 0.3          | 0.5                     |
| Paja de trigo | 15           | 0               | 7.42            | 9.29 | 8.67 | 8.46         | 0.9          | 1.0                     |
|               |              | 0.3             | 5.42            | 4.85 | 5.66 | 5.31         | 0.2          | 0.4                     |
|               |              | 0.6             | 4.64            | 4.54 | 4.18 | 4.45         | 0.1          | 0.2                     |
|               |              | 0.9             | 4.05            | 3.88 | 3.81 | 3.91         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 1.2             | 3.25            | 3.35 | 2.90 | 3.17         | 0.1          | 0.2                     |
|               | 30           | 0               | 8.32            | 6.89 | 8.27 | 7.82         | 0.7          | 0.8                     |
|               |              | 0.3             | 4.36            | 4.38 | 4.35 | 4.36         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.6             | 3.91            | 3.63 | 3.63 | 3.72         | 0.0          | 0.2                     |
|               |              | 0.9             | 3.31            | 2.95 | 3.01 | 3.09         | 0.0          | 0.2                     |
|               |              | 1.2             | 2.79            | 2.23 | 2.28 | 2.43         | 0.1          | 0.3                     |
|               | 45           | 0               | 8.18            | 8.34 | 8.17 | 8.23         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.3             | 3.68            | 3.56 | 3.42 | 3.55         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.6             | 2.89            | 2.87 | 2.98 | 2.91         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.9             | 2.29            | 2.07 | 1.90 | 2.08         | 0.0          | 0.2                     |
|               |              | 1.2             | 1.22            | 1.24 | 1.22 | 1.22         | 0.0          | 0.0                     |

### 3.4. Durabilidad

Tabla 32: Media, varianza, desviación para los datos de durabilidad

| Fibras        | Tamaños (mm) | Porcentajes (%) | Durabilidad (%) |      |      | Promedio (%) | Varianza (%) | Desviación Estándar (%) |
|---------------|--------------|-----------------|-----------------|------|------|--------------|--------------|-------------------------|
|               |              |                 | M1              | M2   | M3   |              |              |                         |
| Cabuya        | 15           | 0               | 5.50            | 5.57 | 5.41 | 5.50         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.3             | 2.22            | 2.09 | 2.14 | 2.15         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.6             | 1.91            | 1.94 | 1.98 | 1.94         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.9             | 1.82            | 1.79 | 1.73 | 1.78         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 1.2             | 1.56            | 1.61 | 1.65 | 1.61         | 0.0          | 0.0                     |
|               | 30           | 0               | 4.43            | 4.73 | 6.01 | 5.05         | 0.7          | 0.8                     |
|               |              | 0.3             | 1.94            | 1.94 | 2.00 | 1.96         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.6             | 1.81            | 1.78 | 1.84 | 1.81         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.9             | 1.66            | 1.70 | 1.64 | 1.67         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 1.2             | 1.56            | 1.46 | 1.58 | 1.53         | 0.0          | 0.1                     |
|               | 45           | 0               | 5.36            | 7.15 | 6.15 | 6.22         | 0.8          | 0.9                     |
|               |              | 0.3             | 1.92            | 1.82 | 1.84 | 1.86         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.6             | 1.79            | 1.74 | 1.70 | 1.74         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.9             | 1.63            | 1.53 | 1.62 | 1.59         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 1.2             | 1.44            | 1.46 | 1.37 | 1.42         | 0.0          | 0.0                     |
| Paja de trigo | 15           | 0               | 5.41            | 4.35 | 6.29 | 5.35         | 0.9          | 1.0                     |
|               |              | 0.3             | 1.93            | 1.90 | 1.86 | 1.89         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.6             | 1.75            | 1.76 | 1.84 | 1.78         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.9             | 1.67            | 1.61 | 1.69 | 1.66         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 1.2             | 1.55            | 1.51 | 1.47 | 1.51         | 0.0          | 0.0                     |
|               | 30           | 0               | 7.43            | 4.33 | 5.56 | 5.77         | 2.4          | 1.6                     |
|               |              | 0.3             | 1.73            | 1.87 | 1.89 | 1.83         | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.6             | 1.68            | 1.73 | 1.75 | 1.72         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.9             | 1.59            | 1.66 | 1.64 | 1.63         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 1.2             | 1.42            | 1.51 | 1.45 | 1.46         | 0.0          | 0.0                     |
|               | 45           | 0               | 6.04            | 6.02 | 4.00 | 5.35         | 1.4          | 1.2                     |
|               |              | 0.3             | 1.71            | 1.74 | 1.68 | 1.71         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.6             | 1.62            | 1.66 | 1.58 | 1.62         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 0.9             | 1.45            | 1.53 | 1.44 | 1.48         | 0.0          | 0.0                     |
|               |              | 1.2             | 1.35            | 1.42 | 1.34 | 1.37         | 0.0          | 0.0                     |

### 3.5. Resistencia a compresión

Tabla 33: Media, varianza, desviación para los datos de resistencia a compresión

| Fibra         | Tamaños (mm) | Porcentajes (%) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) |       |       | Promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) | Varianza (%) | Desviación Estándar (%) |
|---------------|--------------|-----------------|--|-------|-------|--------------------------------|--------------|-------------------------|
|               |              |                 | M1   | M2    | M3    |                                |              |                         |
| Cabuya        | 15           | 0               | 8.25   | 9.57  | 7.75  | 8.52                           | 0.9          | 0.9                     |
|               |              | 0.3             | 13.52  | 12.55 | 13.25 | 13.10                          | 0.3          | 0.5                     |
|               |              | 0.6             | 22.65  | 20.49 | 21.39 | 21.51                          | 1.2          | 1.1                     |
|               |              | 0.9             | 26.76  | 26.17 | 26.33 | 26.42                          | 0.1          | 0.3                     |
|               |              | 1.2             | 29.13  | 29.51 | 29.91 | 29.52                          | 0.2          | 0.4                     |
|               | 30           | 0               | 8.05   | 8.17  | 7.51  | 7.91                           | 0.1          | 0.4                     |
|               |              | 0.3             | 15.98  | 17.46 | 16.49 | 16.64                          | 0.6          | 0.7                     |
|               |              | 0.6             | 29.58  | 29.88 | 29.53 | 29.66                          | 0.0          | 0.2                     |
|               |              | 0.9             | 34.70  | 33.63 | 34.22 | 34.18                          | 0.3          | 0.5                     |
|               |              | 1.2             | 36.20  | 34.50 | 36.10 | 35.60                          | 0.9          | 1.0                     |
|               | 45           | 0               | 8.78   | 10.45 | 8.66  | 9.30                           | 1.0          | 1.0                     |
|               |              | 0.3             | 22.66  | 21.26 | 21.96 | 21.96                          | 0.5          | 0.7                     |
|               |              | 0.6             | 31.73  | 30.78 | 32.28 | 31.60                          | 0.6          | 0.8                     |
|               |              | 0.9             | 35.73  | 34.52 | 33.56 | 34.60                          | 1.2          | 1.1                     |
|               |              | 1.2             | 35.70  | 34.90 | 36.86 | 35.82                          | 1.0          | 1.0                     |
| Paja de trigo | 15           | 0               | 8.43   | 8.61  | 8.09  | 8.38                           | 0.1          | 0.3                     |
|               |              | 0.3             | 5.20   | 5.64  | 5.17  | 5.34                           | 0.1          | 0.3                     |
|               |              | 0.6             | 7.44   | 7.58  | 7.41  | 7.47                           | 0.0          | 0.1                     |
|               |              | 0.9             | 18.33  | 18.02 | 18.08 | 18.14                          | 0.0          | 0.2                     |
|               |              | 1.2             | 23.17  | 22.20 | 23.24 | 22.87                          | 0.3          | 0.6                     |
|               | 30           | 0               | 7.35   | 8.18  | 8.95  | 8.16                           | 0.6          | 0.8                     |
|               |              | 0.3             | 9.43   | 9.98  | 9.56  | 9.66                           | 0.1          | 0.3                     |
|               |              | 0.6             | 10.81  | 10.95 | 9.93  | 10.56                          | 0.3          | 0.6                     |
|               |              | 0.9             | 25.87  | 23.76 | 25.57 | 25.07                          | 1.3          | 1.1                     |
|               |              | 1.2             | 16.40  | 16.86 | 16.30 | 16.52                          | 0.1          | 0.3                     |
|               | 45           | 0               | 7.64   | 8.47  | 9.29  | 8.47                           | 0.7          | 0.8                     |
|               |              | 0.3             | 9.21   | 8.97  | 8.92  | 9.03                           | 0.0          | 0.2                     |
|               |              | 0.6             | 10.93  | 11.01 | 11.73 | 11.22                          | 0.2          | 0.4                     |
|               |              | 0.9             | 18.21  | 17.48 | 16.37 | 17.35                          | 0.9          | 0.9                     |
|               |              | 1.2             | 14.77  | 14.88 | 13.99 | 14.55                          | 0.2          | 0.5                     |

### 3.6. Evaluación económica

#### 3.6.1. Elaboración de un adobe estabilizado con fibra de cabuya

Tabla 34: Análisis de costo de un adobe estabilizado agregando cabuya

| Rendimiento                    | 500            | Und/día   | Costo Unitario |            | S/ 2.73     |
|--------------------------------|----------------|-----------|----------------|------------|-------------|
| Descripción                    | Unidad         | Cuadrilla | Cantidad       | Precio(S/) | Parcial     |
| <b>Mano de obra</b>            |                |           |                |            |             |
| Oficial                        | hh             | 1         | 0.016          | 17.14      | 0.27        |
| Peón                           | hh             | 1         | 0.016          | 15.46      | 0.25        |
|                                |                |           |                |            | <b>0.52</b> |
| <b>Materiales</b>              |                |           |                |            |             |
| Arena gruesa                   | m <sup>3</sup> |           | 0.0017         | 35.00      | 0.06        |
| Suelo fino                     | m <sup>3</sup> |           | 0.0006         | 28.00      | 0.02        |
| Cal                            | kg             |           | 0.2782         | 1.80       | 0.50        |
| Fibra natural                  | kg             |           | 0.0668         | 24.00      | 1.60        |
| Agua                           | m <sup>3</sup> |           | 0.0011         | 5.00       | 0.01        |
|                                |                |           |                |            | <b>2.19</b> |
| <b>Herramientas y máquinas</b> |                |           |                |            |             |
| Herramientas manuales          | %MO            |           | 3.000          | 0.52       | 0.02        |
|                                |                |           |                |            | <b>0.02</b> |

#### 3.6.2. Elaboración de un adobe estabilizado con fibra de paja de trigo

Tabla 35: Análisis de costo de un adobe estabilizado agregando paja de trigo

| Rendimiento                    | 500            | Und/día   | Costo Unitario |            | S/ 1.15     |
|--------------------------------|----------------|-----------|----------------|------------|-------------|
| Descripción                    | Unidad         | Cuadrilla | Cantidad       | Precio(S/) | Parcial     |
| <b>Mano de obra</b>            |                |           |                |            |             |
| Oficial                        | hh             | 1         | 0.016          | 17.14      | 0.27        |
| Peón                           | hh             | 1         | 0.016          | 15.46      | 0.25        |
|                                |                |           |                |            | <b>0.52</b> |
| <b>Materiales</b>              |                |           |                |            |             |
| Arena                          | m <sup>3</sup> |           | 0.0017         | 35.00      | 0.06        |
| Suelo fino                     | m <sup>3</sup> |           | 0.0006         | 28.00      | 0.02        |
| Cal                            | kg             |           | 0.2782         | 1.80       | 0.50        |
| Fibra natural                  | kg             |           | 0.0668         | 0.36       | 0.02        |
| Agua                           | m <sup>3</sup> |           | 0.0011         | 5.00       | 0.01        |
|                                |                |           |                |            | <b>0.61</b> |
| <b>Herramientas y máquinas</b> |                |           |                |            |             |
| Herramientas manuales          | %MO            |           | 3.000          | 0.52       | 0.02        |
|                                |                |           |                |            | <b>0.02</b> |

### 3.6.3. Elaboración de un muro de m<sup>2</sup> con fibra de cabuya

Tabla 36: Análisis de costo de un muro de sogá de un m<sup>2</sup> agregando cabuya

| Rendimiento                    | 7.5            | m <sup>2</sup> /día | Costo Unitario  |                   | <b>S/ 142.95</b> |
|--------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| <b>Descripción</b>             | <b>Unidad</b>  | <b>Cuadrilla</b>    | <b>Cantidad</b> | <b>Precio(S/)</b> | <b>Parcial</b>   |
| <b>Mano de obra</b>            |                |                     |                 |                   |                  |
| Oficial                        | hh             | 1                   | 1.067           | 17.14             | 18.28            |
| Peón                           | hh             | 1                   | 1.067           | 15.46             | 16.49            |
|                                |                |                     |                 |                   | <b>34.77</b>     |
| <b>Materiales</b>              |                |                     |                 |                   |                  |
| Adobe                          | Und.           |                     | 39              | 2.73              | 106.47           |
| Suelo fino                     | m <sup>3</sup> |                     | 0.0231          | 28.00             | 0.65             |
| Agua                           | m <sup>3</sup> |                     | 0.0035          | 5.00              | 0.02             |
|                                |                |                     |                 |                   | <b>107.14</b>    |
| <b>Herramientas y máquinas</b> |                |                     |                 |                   |                  |
| Herramientas manuales          | %MO            |                     | 3.000           | 34.77             | 1.04             |
|                                |                |                     |                 |                   | <b>1.04</b>      |

### 3.6.4. Elaboración de un muro de m<sup>2</sup> con fibra de paja de trigo

Tabla 37: Análisis de costo de un muro de sogá de un m<sup>2</sup> agregando paja de trigo

| Rendimiento                    | 7.5            | m <sup>2</sup> /día | Costo Unitario  |                   | <b>S/ 81.33</b> |
|--------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| <b>Descripción</b>             | <b>Unidad</b>  | <b>Cuadrilla</b>    | <b>Cantidad</b> | <b>Precio(S/)</b> | <b>Parcial</b>  |
| <b>Mano de obra</b>            |                |                     |                 |                   |                 |
| Oficial                        | h              | 1                   | 1.067           | 17.14             | 18.28           |
| Peón                           | h              | 1                   | 1.067           | 15.46             | 16.49           |
|                                |                |                     |                 |                   | <b>34.77</b>    |
| <b>Materiales</b>              |                |                     |                 |                   |                 |
| Adobe                          | Und.           |                     | 39              | 1.15              | 44.85           |
| Suelo fino                     | m <sup>3</sup> |                     | 0.0231          | 28.00             | 0.65            |
| Agua                           | m <sup>3</sup> |                     | 0.0035          | 5.00              | 0.02            |
|                                |                |                     |                 |                   | <b>45.52</b>    |
| <b>Herramientas y máquinas</b> |                |                     |                 |                   |                 |
| Herramientas manuales          | %MO            |                     | 3.000           | 34.77             | 1.04            |
|                                |                |                     |                 |                   | <b>1.04</b>     |

## IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

#### 4.1.1. Caracterización de la materia prima

Se realizó los principales ensayos a la materia prima. Esto es de gran importancia para la elaboración de un adobe. Los resultados obtenidos fueron comparados con los rangos que establecen las normativas o personas expertas en el tema, y así verificar si cumple con el control de calidad para ser considerado utilizable.

#### A. Granulometría

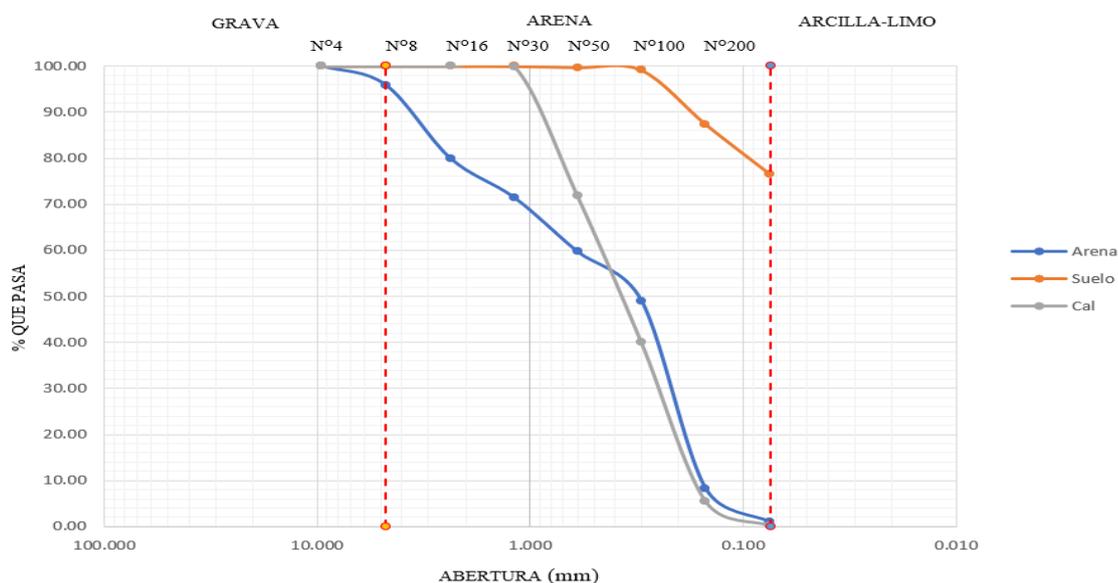


Figura 28: Curva granulométrica del suelo, arena y cal

En la figura 12 se muestra las curvas granulométricas para el suelo, la arena y cal, distinguiendo la composición según el diámetro de las partículas retenidas por cada tamiz. La granulometría de la arena nos permitirá que el adobe no presenta una gran cantidad de vacíos en su interior, de esta manera su trabajabilidad no se ve afectada; presento un 4% de grava, 95% de arena y 1% de arcilla-limo. El módulo de finura del agregado nos describe la proporción de finos o gruesos que tiene la muestra. Si el módulo de finura es muy pequeño, significa que va ver una mayor área superficial y una mayor cantidad de agua, es por ello que se recomienda que este en el rango de 2.3 a 3.1. Se estima que las arenas comprendidas entre los módulos de 2.2 a 2.8 producen buena trabajabilidad. El agregado que hemos utilizado tiene un módulo de finura de

2.3, ubicándose dentro de lo establecido, y según la clasificación es llamado arena gruesa. Con respecto a la granulometría del suelo, presento un 0% de grava, 23% de arena y un 77% de arcilla-limo; de acuerdo a la clasificación SUCS, teniendo en cuenta la granulometría, límite líquido e índice de plasticidad, el suelo se clasificó como CL-ML (Arcilla de baja plasticidad-Limo de baja plasticidad). Y por último se realizó la granulometría de la cal, que obtuvo un módulo de 1.8.

#### **B. Límite de Atterberg:**

El porcentaje de agua que se le agregue a un suelo, depende mucho de la cantidad de finos que contenga, a más finos la capacidad de absorber agua será mucho mayor. Para esto se caracterizó el comportamiento del suelo, donde el Límite líquido nos ayudara a definir el contenido de agua en el límite entre el estado líquido y plástico. Y el límite plástico a definir el porcentaje en el límite del estado plástico y el semisólido. Después de haber realizado los ensayos para el límite líquido y límite plástico, se siguió con el cálculo del índice de plasticidad, donde nos dio un resultado del 5 %, lo cual es muy bajo, lo que significa que un pequeño incremento de humedad, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. También nos ayudó a clasificar el tipo de suelo y el subgrupo que se encuentra, donde nos basamos en el método SUCS. El suelo se clasifica en un material arcilloso de baja plasticidad-limoso de baja plasticidad.

#### **C. Materia orgánica**

Cruz (2006), indica intervalos en porcentaje, para determinar si el suelo es altamente orgánico si es mayor a 4%, medio si oscila entre 2% a 4% y bajo cuando su porcentaje es menor al 2%.

El suelo contiene un 1.20% de materia orgánica, donde nos indica, que contiene un bajo porcentaje. Con respecto a las fibras naturales añadidas, se tuvo en cuenta que en el libro de Minke (2008) nos dice que la tierra como material de construcción debería estar libre de materia orgánica y humus, pero en algunas condiciones fibras vegetales como paja pueden añadirse asegurándose de que estén secas, evitando así los riesgos por su descomposición.

#### **D. Gravedad Especifica**

Se realizó una comparación entre la masa de un cierto volumen de suelo a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua y libre de gas. Generalmente la variación de la densidad de sólidos es de  $2.6 \text{ g/cm}^3$  a  $2.80 \text{ g/cm}^3$ , aunque hay excepciones donde llegan a  $1.5 \text{ g/cm}^3$  y aun menores, debido a la presencia de materia orgánica. En cambio, en suelos con cierta cantidad de minerales de hierro las densidades de sólidos han llegado a  $3 \text{ g/cm}^3$ . Los resultados obtenidos del suelo fueron de un  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , donde según la clasificación de suelos de Bardet (1997), es un suelo limo inorgánico.

Con respecto a la cal, de acuerdo a los resultados de la gravedad específica se tiene un valor de  $2.47 \text{ g/cm}^3$ , si lo clasificaríamos en la tabla de Bardet (1997), estaría en suelos cenizas volcánicas, ya que está en el rango de  $2.20 \text{ g/cm}^3$  a  $2.50 \text{ g/cm}^3$ .

#### **E. Porcentaje de humedad**

Se tiene que tener en cuenta que la rena gruesa y el suelo al tener contacto con el medio ambiente le proporciona cierto grado de humedad, lo cual esto puede influir en climas húmedos o las propias estaciones (verano, primavera, otoño e invierno) del lugar. El suelo obtuvo un 2.3% de humedad. La norma NTP 339.185 no define rangos o límites para el contenido de humedad en un agregado, en este caso el agregado fino contiene una humedad del 0.8 %.

Una de las principales utilidades de la cal, se centra en que mezclada con agua forman una pasta que mejora las características de trabajabilidad de los materiales, aumentando su consistencia y resistencia. Es por eso, la importancia de la cantidad de agua que se agregue y la que contiene el propio material. La cal que hemos utilizado, contiene 3.8 % de humedad.

#### **F. Peso específico**

El peso específico es un indicador de calidad, donde nos muestra que si el agregado tiene valores elevados disminuye la absorción y porosidad, dando como resultado un material que tiene un buen comportamiento. El agregado fino normal su rango oscila entre  $2.5 \text{ g/cm}^3$  y  $2.75 \text{ g/cm}^3$ . EL peso específico de nuestro agregado fue de  $2.66 \text{ g/cm}^3$ . Teóricamente mientras sea mayor el valor, mayores propiedades mecánicas aportara, sin embargo, hay otras propiedades que ayudan como la forma y textura del agregado.

### G. Absorción

La absorción es el aumento en la masa del agregado, debido que los poros contienen agua, pero sin incluir el agua adherida en las partes externas de las partículas, expresado como un porcentaje en relación a la masa seca. La absorción del agregado que hemos utilizado es de 2.43 %, el valor está dentro del rango de 0.2 a 5 %, considerándose un material de buena calidad pues su valor de absorción es menor al 5%.

### H. Análisis químicos

De acuerdo al pH del suelo y arena, 8.3 y 8.42 respectivamente, están en el rango de Básico (Tabla 13) y de acuerdo a su conductividad, 1.7 dS/m y 0.9 dS/m, son considerados suelos normales, por ende, respecto a estos parámetros, el material puede usarse, debido a que sus valores no afectarían negativamente el comportamiento de la mezcla. Minke (2008) también nos habla que los suelos que tengan un valor de pH de 7 a más, usualmente previenen el crecimiento de hongos. Con respecto a la cal, su pH fue de 12.3, considerando como un calcio reactivo, es decir cal útil, mayor su pH de la cal, es mejor ya que puede hidratarse fácilmente. La conductividad de la cal fue de 9.5 dS/m estando dentro del rango de una salinidad fuerte de 8dS/m – 16 dS/m. Por último, se realizó el pH a las fibras naturales, donde la fibra de cabuya obtuvo 5.6 de pH y una conductividad de 0.1 dS/m y la fibra de paja de trigo obtuvo 6.6 de pH con una conductividad de 0.6 dS/m.

#### 4.1.2. Diseño de mezcla

Se han empleados moldes de 50 x 50 x 50 mm para los ensayos de compresión y durabilidad y 75 x 20 mm para el ensayo de contracción. La dosificación empleada fue de 3:1, es decir 75% de arena gruesa y 25 % de suelo fino(arcilla-limo), esta dosificación fue tomada de la investigación de Llacza (2018). A la vez, se le agrego cal, donde su porcentaje fue determinado por ensayos preliminares. Se realizo probetas de 50 x 50 x 50 mm donde se le agrego del 1 % hasta el 10 % del total (suelo y arena gruesa) y se sumergió en agua por una semana. Se observo que del 1 % hasta el 4% las probetas se desmoronaban, perdiendo más del 10 % de su masa. A partir del 5% de cal, se observó que su pérdida de masa era pequeña. Por ese motivo se tomó la decisión que la relación es la más adecuada. Con respecto al

porcentaje de agua se realizó ensayos preliminares, donde se le agregó del 10% hasta el 20% del total (suelo y arena gruesa), después de conformar las probetas, se decidió por el 18% de agua, ya que la mezcla pudo ser trabajable. Y, por último, se le agregaron diferente tipo de fibra, tamaño y porcentaje. La relación de cada uno (tipo, tamaño y porcentaje), fue tomado en cuenta por investigación anteriores.

#### 4.1.3. Resistencia a compresión

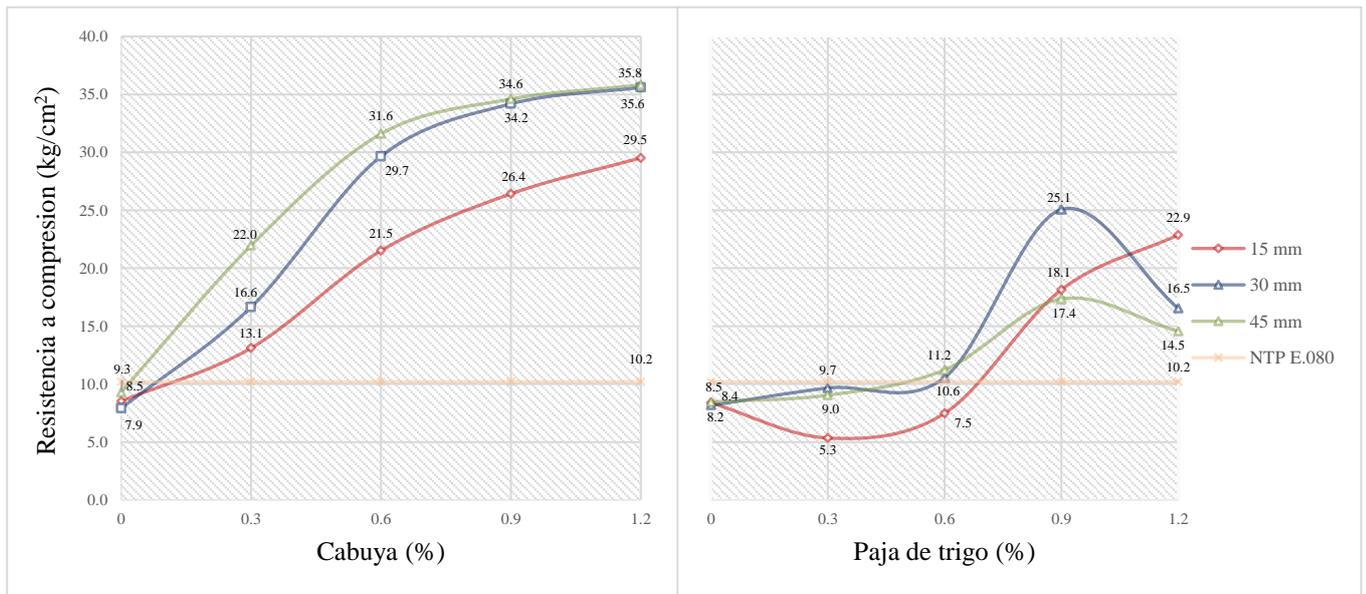


Figura 29: Resistencia a compresión de probetas con fibras naturales

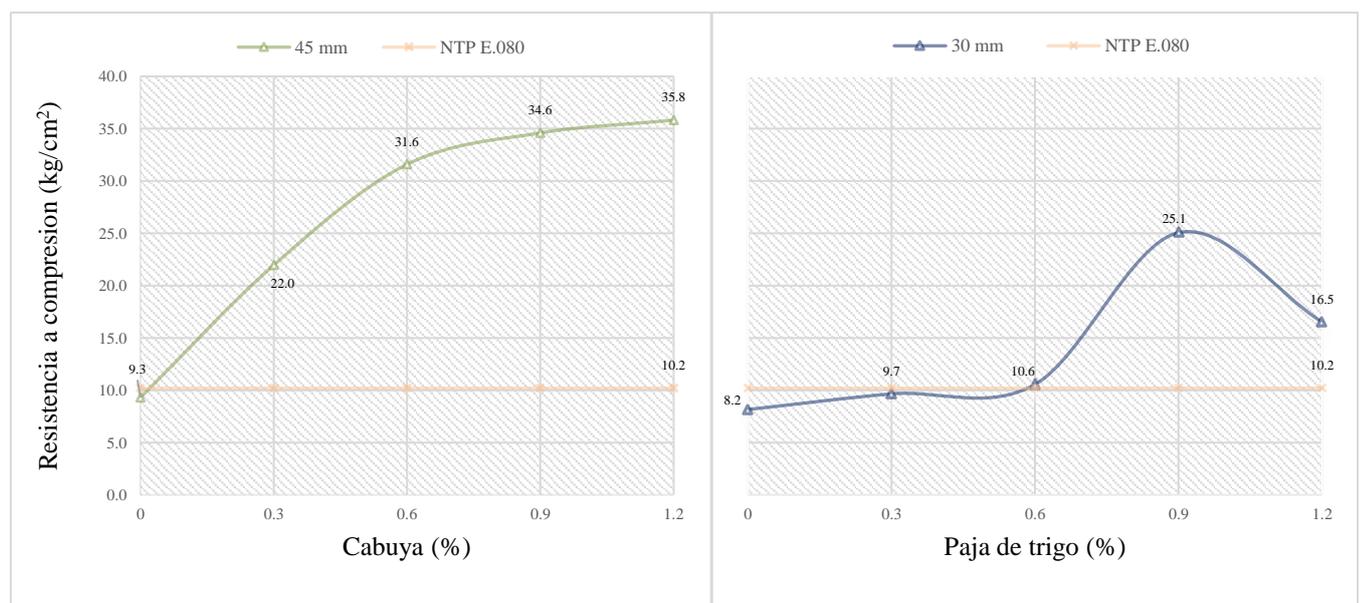


Figura 30: Resistencia a compresión con los mejores resultados por fibra natural

La resistencia a compresión es la propiedad más importante que define el uso del adobe, por tal motivo es fundamental hacer la prueba. Tenemos que considerar que esta propiedad es influenciada por el tipo de suelo, la arena, la dosificación, el tipo de estabilizante, la cantidad de materia orgánica y el tiempo de secado.

Los resultados que se observa en la figura 29 destaca que, con respecto a las fibras naturales, la cabuya obtiene el más alto resultado, que fue del 1.2 % con un tamaño de 45 mm con una resistencia de  $35.82 \text{ kg/cm}^2$ , y el menor considerando el agregado de fibra fue de 0.3% con un tamaño de 15 mm que obtuvo  $13.10 \text{ kg/cm}^2$ . Con respecto a la fibra de paja de trigo, el que obtuvo mayor resistencia fue el de 0.9 % con un tamaño de 3 cm consiguiendo  $25.07 \text{ kg/cm}^2$ , y la menor fue de 0.3 % con un tamaño de 1.5 cm dando un resultado de  $5.34 \text{ kg/cm}^2$ .

Haciendo referencia a la Norma E.080\_2017 indica que como mínimo un adobe debe tener una resistencia a compresión de  $10.2 \text{ kg/cm}^2$ ; podemos observar que con el 0% de fibra ningún resultado llega a lo mínimo que nos pide la norma. A la vez, la fibra de paja de trigo con el 0.3% y 0.6% con un tamaño de 15 mm, y también con el 0.3 % con los tamaños 30 mm y 45 mm no llegan a superar lo que indica la norma. No obstante, los otros porcentajes y tamaños si lograron superar la resistencia mínima. A la vez, se puede notar que aumentando su porcentaje de fibra la resistencia aumenta, pero solo hasta un porcentaje dado, luego comienza a disminuir. Así mismo, pasa con el tamaño, más grande, aumenta su resistencia, hasta un tamaño dado, luego comienza a disminuir. Con respecto a la cabuya, todas las muestras que se le agrega fibra pasan la resistencia mínima que indica la norma; y el aumento de su resistencia va en relación al aumento del porcentaje y tamaños de fibras.

Estos aumentos de resistencias se deben, a la unión interfacial (fibra-material) que realiza las fibras naturales, esta unión no solo depende del tamaño o porcentaje, sino también del diámetro y la textura.

#### 4.1.4. Durabilidad

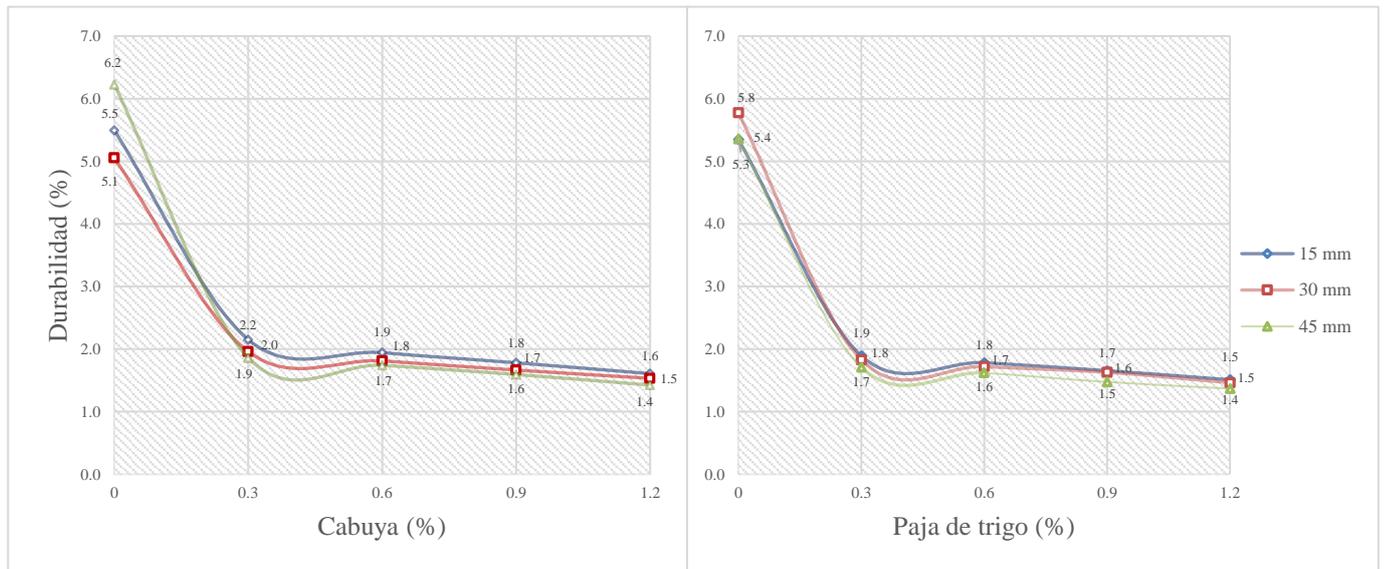


Figura 31: Durabilidad de probetas con fibras natural

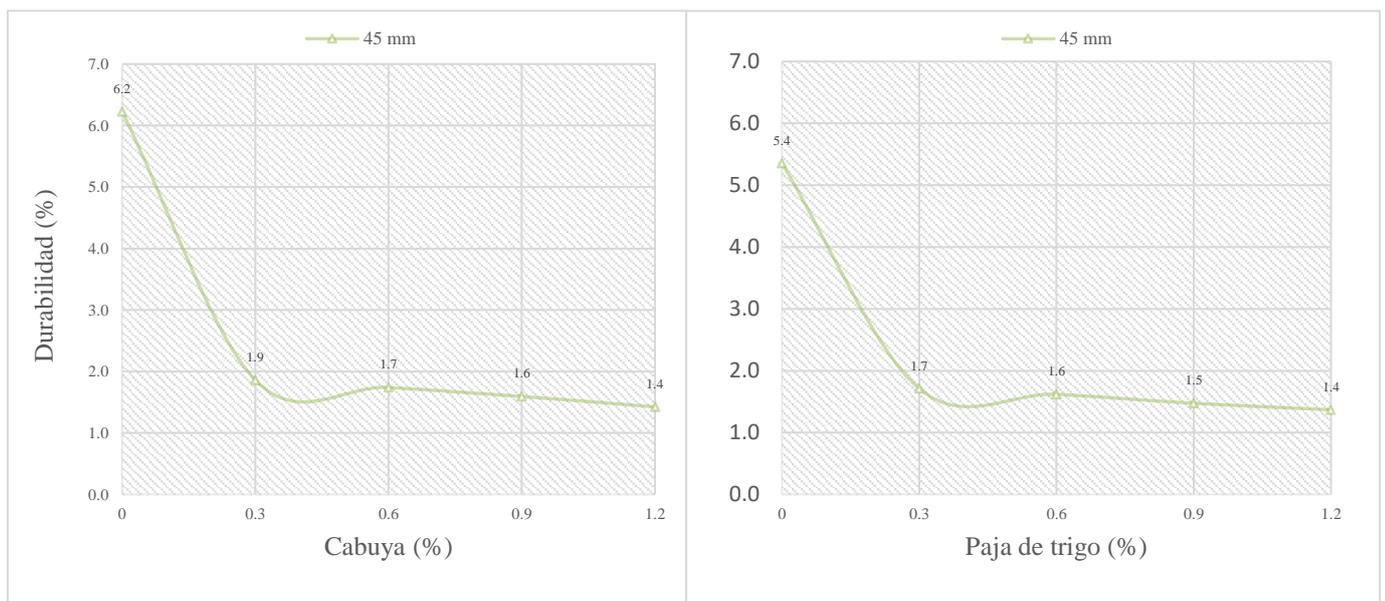


Figura 32: Durabilidad con los mejores resultados por fibra natural

La norma E.080\_2017 no especifica algún tipo de procedimiento o información para este ensayo, por lo cual se tuvo que adaptar observando alcances de investigaciones en unidades de adobes. El ensayo se realiza con la finalidad de verificar si los especímenes son resistentes ante la presencia de agua, al impacto erosivo inundaciones que tienen una alta ocurrencia últimamente en nuestro país.

En el caso del adobe estabilizado, el material estabilizador disminuye el problema técnico fundamental que presenta el adobe simple, es nuestro caso, se utilizó un estabilizante (cal) a un 5% del total (suelo y arena).

El ensayo consistió en ver la pérdida de peso de las probetas al ser sumergidas por dos días bajo el agua; donde los valores que refleja la figura 31, indican que el porcentaje de durabilidad más alto fue el de 0% ya sea en el caso de cabuya o paja de trigo. Con respecto a la probeta con fibras, la más alta fue de 0.3% con un tamaño de 1.5 cm, para la fibra de cabuya y paja de trigo, que obtuvieron 2.15% y 1.89% respectivamente. La de menor porcentaje fue el de 1.2% con un tamaño de 1.5 cm, para la fibra de cabuya y paja de trigo, que tuvieron 1.42% y 1.37% respectivamente.

Se determinó que a más porcentaje y más grande los tamaños, la pérdida de masa es menor, esto pasa para las dos fibras naturales. No obstante, la fibra de paja de trigo hace que la pérdida de masa sea menor con respecto a la fibra de cabuya.

#### 4.1.5. Contracción o retracción

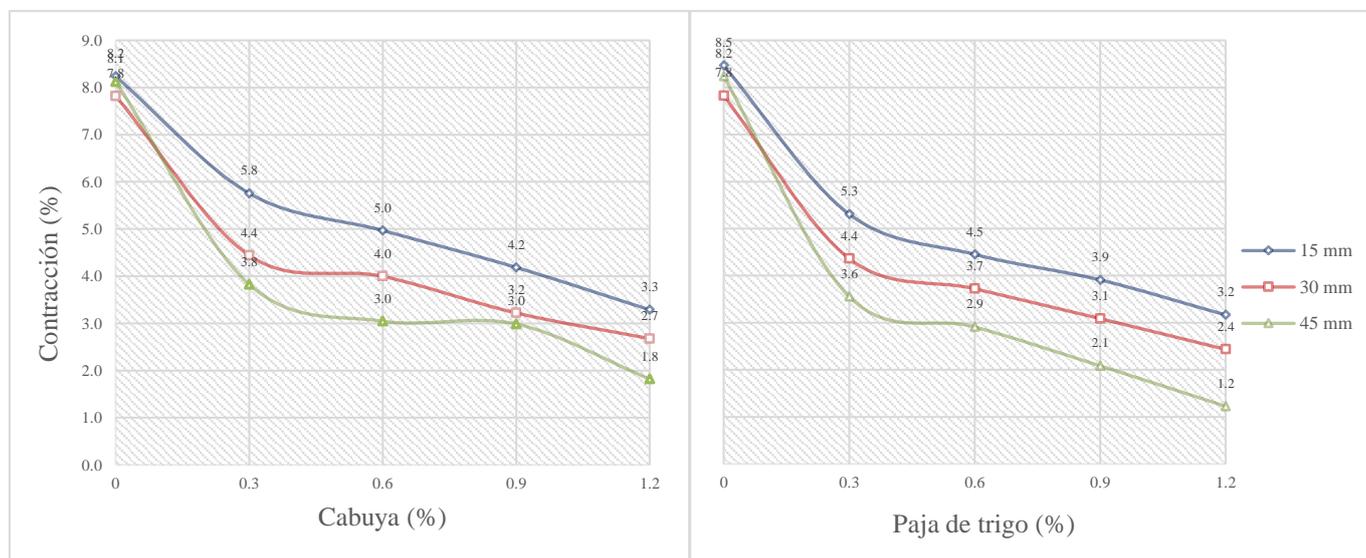


Figura 33: Contracción de probetas con fibras naturales

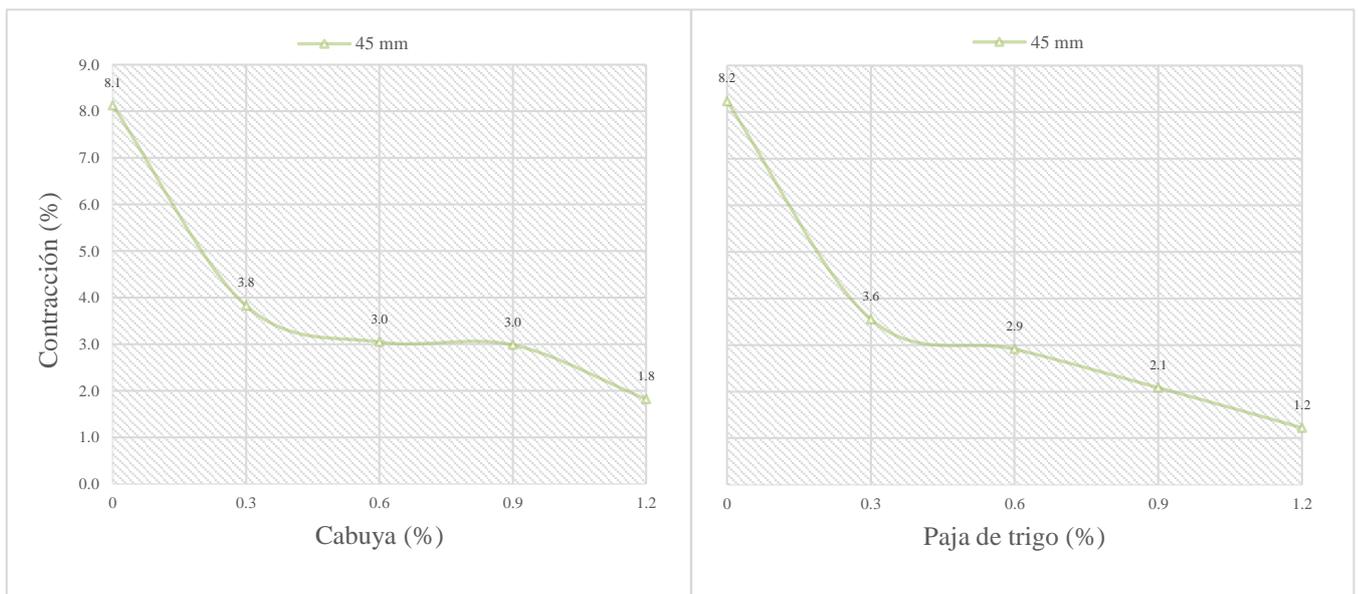


Figura 34: Contracción con los mejores resultados por fibras naturales

La contracción lo experimenta el adobe por disminución de volumen durante el proceso de secado y principio de endurecimiento. Es decir, la contracción es provocada por la pérdida de agua sobrante tras la hidratación del adobe.

Minke (2008), dice que las fisuras de retracción o contracción en superficies de barro expuestas a la lluvia deben evitarse debido a la creciente erosión. La retracción durante el secado depende de la cantidad de agua, del tipo y cantidad de minerales arcillosos y por último de la distribución de la granulometría de los agregados. Añadiendo arena u agregados mayores a un barro, se reduce el contenido relativo de arcilla y por lo tanto reduce la retracción al secar.

Las contracciones más altas fueron las del 0% de fibra, ya sea para cabuya y paja de trigo. La agregación de fibras naturales redujo la contracción; el más alto fue del 0.3% con un tamaño de 1.5 cm que obtuvo un 5.76% con respecto a la fibra de cabuya, y con la fibra de paja de trigo fue el mismo porcentaje y tamaño, pero con un 5.31%. La de menor contracción fue la de 1.2 % con un tamaño de 4.5 cm ya sea para la fibra de cabuya y paja de trigo, que obtuvieron 1.82% y 1.22% respectivamente. Se puede diferenciar que la fibra paja de trigo tiene menor contracción con respecto a la fibra de cabuya. También se puede decir que a mayor porcentaje y a más grande el tamaño de fibra reduce la contracción, esto se puede observar en la figura 33.

Minke (2008) también nos dice que cuando se añade fibras como pelo animal o humano, fibras vegetales la retracción puede reducirse. Esto se debe a que el contenido relativo de arcilla se reduce y que parte del agua es absorbida por los poros de las fibras.

#### **4.1.6. Análisis económico**

Se logro determinar el costo total de un adobe estabilizado con cal, incluyéndole fibras naturales con un porcentaje de 1.2% con un tamaño de 4.5 cm. Con el adobe estabilizado agregándole cabuya, el adobe tiene un costo de S/2.73, recalcando que la fibra de cabuya por 1 kg tiene un costo de 24 soles, y por tal motivo tiene un costo elevado. Con respecto al adobe agregándole paja de trigo su costo es de S/1.15. No obstante el costo de un adobe artesanal está en el rango de S/0.30 a S/0.50 es más barato, pero tienen una resistencia baja; considerando sus propiedades, el adobe estabilizado agregándole fibra a largo plazo va a tener una mejor resistencia a compresión, durabilidad y contracción.

También se elaboraron los costos de un muro de  $1\text{m}^2$  con una junta de 1.5 cm empleando un sentado de sogá, teniendo en cuenta que se utilizó el 1.2% de fibra natural con un tamaño de 4.5 cm. El costo de un muro de  $1\text{m}^2$  agregándole cabuya fue de S/142.95. Y con respecto a la paja de trigo su costo fue de S/81.33.

#### **4.1.7. Análisis estadístico**

En el análisis estadístico se llegó a emplear para la comprobación de datos normales en el programa SPSS (Spectra Precision Survey), esta evaluación se realizó para los datos de las variables dependientes ( resistencia a compresión, contracción y durabilidad) según las variables independientes (tamaño, porcentaje y tipo de fibra natural), donde se pudo comprobar mediante la prueba de Shapiro – Wilk (el tamaño de muestra es  $\leq 30$ ) que los datos de resistencia a compresión están dentro de una distribución normal, debido a que eran mayor que el porcentaje de error en ingeniería ( $\alpha=0.05$ ), con respecto a la contracción y durabilidad, sus resultados no tienen una distribución normal. Según la variable independiente es un estudio transversal, porque están analizando 3 grupos en un mismo momento y dentro de ellos más de 2 grupos, es por esto que se utilizó el ANAVA para poder validar la hipótesis, donde la F experimental de la variable de dependiente resistencia a la compresión fue mayor que la F teórico, por lo tanto, se aceptaron la hipótesis

alterna. Donde la combinación B x C (porcentaje – tipo de fibra) tuvo una mayor influencia en la resistencia a compresión se puede observar en la tabla 38. Con las variables dependiente contracción y durabilidad, la F experimental fueron menor que la F teórico, por lo tanto, se aceptó la hipótesis nula. En la variable contracción y durabilidad se observó que el porcentaje de fibra(B) individualmente influencia significativamente, se puede observar en la tabla 39 y 40.

Tabla 38: Relación del  $F_{\text{Experimental}}$  con el  $F_{\text{Teórico}}$  de la variable resistencia a compresión

| Fuente de variación | $F_{\text{Experimental}}$ | $F_{\text{Teórico}}$ |
|---------------------|---------------------------|----------------------|
| A                   | 234.34                    | 3.15                 |
| B                   | 2417.81                   | 2.53                 |
| C                   | 5880.68                   | 4.00                 |
| A x B               | 65.20                     | 2.10                 |
| A x C               | 211.16                    | 3.15                 |
| B x C               | 464.00                    | 2.53                 |
| A x B x C           | 36.82                     | 2.10                 |
| Error               | -                         | -                    |

Tabla 39: Relación del  $F_{\text{Experimental}}$  con el  $F_{\text{Teórico}}$  de la variable contracción

| Fuente de variación | $F_{\text{Experimental}}$ | $F_{\text{Teórico}}$ |
|---------------------|---------------------------|----------------------|
| A                   | 86.93                     | 3.15                 |
| B                   | 514.91                    | 2.53                 |
| C                   | 7.92                      | 4.00                 |
| A x B               | 4.92                      | 2.10                 |
| A x C               | 0.52                      | 3.15                 |
| B x C               | 1.16                      | 2.53                 |
| A x B x C           | 0.56                      | 2.10                 |
| Error               | -                         | -                    |

Tabla 40: Relación del  $F_{\text{Experimental}}$  con el  $F_{\text{Teórico}}$  de la variable durabilidad

| Fuente de variación | $F_{\text{Experimental}}$ | $F_{\text{Teórico}}$ |
|---------------------|---------------------------|----------------------|
| A                   | 0.28                      | 3.15                 |
| B                   | 254.45                    | 2.53                 |
| C                   | 1.38                      | 4.00                 |
| A x B               | 0.53                      | 2.10                 |
| A x C               | 1.08                      | 3.15                 |
| B x C               | 0.03                      | 2.53                 |
| A x B x C           | 0.87                      | 2.10                 |
| Error               | -                         | -                    |

## 4.2. Conclusiones

- Se logro determinar la influencia de las fibras naturales en adobes estabilizados con cal, mostrando como material de refuerzo antes esfuerzos de compresión, donde aporta un valor agregado, ya que aumentan su resistencia a compresión. A la vez, se registró una tendencia, donde la fibra de cabuya a mayor porcentaje y tamaño la resistencia aumenta, dando el mejor resultado, que es del 1.2% con un tamaño de 45 mm obteniendo una resistencia de  $35.82 \text{ kg/cm}^2$ , y con respecto a la fibra de paja de trigo se registró que solo hasta un porcentaje y tamaño dado su valor aumenta, donde el mejor resultado es del 0.9% con un tamaño de 30 mm consiguiendo una resistencia de  $25.07 \text{ kg/cm}^2$ , luego comienza a decrecer. Tomando en cuenta los mejores resultados con las diferentes fibras, su resistencia es superior al requerimiento que nos pide la Norma E.080 que es de  $10.2 \text{ kg/cm}^2$ .
- Se determino que a mayor porcentaje y tamaño de fibra natural la durabilidad de un adobe disminuye, es decir, que la pérdida de masa va ser menor, y por lo tanto menor perdida de volumen. El mejor resultado de la fibra de cabuya y paja de trigo fueron con el 1.2% con un tamaño de 45 mm, obteniendo una pérdida de masa de 1.42% y 1.37% respectivamente. Teniendo en cuenta que, si comparamos las fibras, la paja de trigo hace que haya menos pérdida de masa.
- Los valores de contracción tienen una tendencia, que, a mayor porcentaje y tamaños, la contracción disminuye, es decir, menor disminución de volumen durante el proceso de secado y principio de endurecimiento. Los mejores resultados fueron para el 1.2% con un tamaño de 45 mm, ya sea para la fibra de cabuya y paja de trigo, obteniendo una contracción del 1.82% y 1.22% respectivamente. La fibra de paja de trigo hace que el adobe tenga una menor contracción con respecto a la fibra de cabuya.
- Se analizo económicamente la relación costo beneficio comparando la elaboración de un adobe estabilizado con cal y un muro de  $1 \text{ m}^2$  con los diferentes tipos de fibra natural con el 1.2% con un tamaño de 45mm, donde la fibra de paja de trigo, es más económica que la fibra de cabuya.
- Se determino el ensayo granulométrico, limite líquido y plástico, peso específico, gravedad específica, materia orgánica, porcentaje de humedad y ensayos químicos a la materia prima.

- Se elaboro un análisis estadístico donde se verifica que la variable resistencia a la compresión logra influenciar en las variables dependientes; con respecto a las variables contracción y durabilidad no influyen en las variables dependientes.

## REFERENCIAS

- Alayo (2018). Resistencia a la flexión y compresión axial del adobe compactado con adición de fibras de yute. Cajamarca.
- Alconz W. (2006). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura materiales de construcción (guía de las prácticas de campo y normas de calidad). Cochabamba.
- ASTM C 1116 – 03 (2003). Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete.
- Bauza J. (2003). Estabilización de suelos con cal. Mezclas con cemento en las infraestructuras del transporte. Madrid.
- Binici H., Aksogan O. & Shah T., (2005). Investigación de refuerzo con fibra de ladrillos de barro como material de construcción. Turquía. Universidad de Cukurova. (Consultado mayo 2019). Obtenido: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061804001631>
- Bouasker M., Belayachi N., Hoxha D. & Al-Mukhtar M. (2014)., Physical Characterization of Natural Straw Fibers as Aggregates for Construction Materials Applications. (Consultado mayo 2019). Obtenido: [www.mdpi.com/journal/materials](http://www.mdpi.com/journal/materials).
- Caballero M., Silva L. & Montes J. (2010). Resistencia mecánica del adobe compactado incrementada por bagazo de agave. México: Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo integral regional unidad Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional.
- Carcedo M. (2012). “Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula”. Tesis para obtener el grado de Master. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España.

- Casado D. (2011). La construcción con tierra cruda: el adobe y la tapia. (Consultado mayo 2019). Obtenido: <http://www.sitiosolar.com/la-construccion-con-tierra-cruda-el-adobe-y-la-tapia/>
- Cid J. (2012). Durabilidad de boques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción. Tesis doctoral. Madrid, España.
- Cotrina A., Limay W. & Lopez D. (2014). Comparación de la resistencia a la compresión de unidades de adobe sin paja con unidades de adobe con paja en cruz blanca. Cajamarca.
- Duque G. & Escobar C. (2016). Geomecánica para ingenieros. Colombia. (Consultado mayo 2019). Obtenido: <http://www.bdigital.unal.edu.co/53252/85/introduccion.pdf>
- Falceto J. (2012). Durabilidad de los bloques de tierra comprimida: Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción. España. (Consultado mayo 2019) Obtenido: <http://oa.upm.es/14647/>
- Espinosa C. (2019). Técnicas de tierra, adobe. (Consultado septiembre 2019). Obtenido: <https://www.arquitecturaysalud.com/ejemplos-de-bioconstruccion/adobe>
- Eurofique. Fique y su proceso de transformación. Artesanía de Curití Santander Colombia. (Consultado mayo 2019). Obtenido: <http://eurofique.info/fique-y-su-proceso-de-transformacion/>
- Gallegos H. & Casabonne C. (2005). Albañilería Estructural. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial, Tercera Edición. Lima-Perú.
- Gama J., Cruz T., Alcalá R., Cabadas H., Jasso C., Díaz J., ... Vilanova R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. Mexico. (Consultado mayo 2019) Obtenido: [http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/6402/\(3\)Gama.pdf](http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/6402/(3)Gama.pdf)

Guía técnica de orientación al productor, (2011). Manejo y fertilidad de suelos. Ministerio de

Agricultura. (Consultado mayo 2019). Obtenido:

<http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>

Gutierrez L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional De Colombia. Centro de Publicaciones. Segunda Edición. Manizales-Colombia

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Perú. (Consultado mayo 2019)  
Obtenido: <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>

Leoni A. (2011). “Comportamiento del suelo”. Capítulo I. Disponible en:  
[https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Cap%C3%ADtulo%201\\_Propiedades%20Fisicas%20de%20los%20suelos.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Cap%C3%ADtulo%201_Propiedades%20Fisicas%20de%20los%20suelos.pdf)

Lopez J. & Bernilla P. (2012). Evaluación funcional y constructiva de viviendas con adobe estabilizado en Cayalti. programa COBE -1976. Perú. (Consultado mayo 2019).  
Obtenido: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1130/1/lopez\\_gj.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1130/1/lopez_gj.pdf)

Llaczka C. (2018). Influencia de tipos de suelos y porcentajes de CaO en adobe prensado, sobre compresión, durabilidad y resistencia al agua en zonas rurales. Trujillo.

Norma técnica de edificaciones 0.80 (2017)- Diseño y construcción con tierra reforzada. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (Consultado mayo 2019) Obtenido:  
<http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2011/ayacucho/2.%20NORMA%20E.080%20ADOBE.pdf>

Norma ASTM D4318: Plasticidad de los suelos y clasificación (limite plástico y limite líquido) según el contenido de humedad

Norma ASTM D854: Método de prueba estándar para la gravedad específica de suelos mediante el picnómetro de agua

Norma ASTM C 136: Método Normalizado para la determinación granulométrica de Agregados finos y gruesos.

Norma ASTM C566: Método normalizado para medir el contenido total de humedad evaporable en agregados mediante secado.

Norma ASTM D4972: Método de ensayo para la determinación del pH en los suelos.

NTP 339.134: Método para la Clasificación de suelos con propósito de ingeniería. (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos-SUCS)

NTP 400.022: Método de ensayo normalizado para la Densidad, la Densidad Relativa (peso específico) y Absorción de Agregado Fino.

Mya J. & Sabu T. (2008). Biofibres and biocomposites. Carbohydrate polymers.

Minke G. (2008). Manual de construcción en tierra- La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. España

Morales V., Ortiz M. & Alavez R. (2007). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. Mexico.

Oseguera L., et al. Manual de construcción (Bio-construcción). Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro. (Consultado mayo 2019). Obtenido: [http://www.caminosostenible.org/wp-content/uploads/BIBLIOTECA/manual\\_bioconstruccion.pdf](http://www.caminosostenible.org/wp-content/uploads/BIBLIOTECA/manual_bioconstruccion.pdf)

Pajares E. (2015). Análisis del incremento de la resistencia mecánica del concreto con la adición de fibra vegetal. Cajamarca.

Perez J. (1974). El fique, su taxonomía, cultivo y tecnología. Editorial Colina, segunda edición; Medellin, Colombia.

Piñeiros L. (1967). Prefactibilidad de la pulpa de cabuya en el Ecuador. Tesis de Grado, U.C.E.; Quito, Ecuador.

- Ríos E. (2010). Efecto de la adición de látex natural y jabón en la resistencia mecánica y absorción del adobe compactado. Para optar por el título de máster en ciencias. Santa Cruz, Bolivia.
- Rivera H. (2017). Influencia de fibras cortas de ave sobre la compresión, flexión y tracción en un mortero proyectado. Trujillo.
- Robles R. (1985). Producción de oleaginosas y textiles. Editorial Limusa; segunda edición, México.
- Rodriguez J. (2019). El adobe, el material de construcción de moda, practico y sostenible. España. (Consultado mayo 2019) Obtenido: <https://ikonstruccion.es/2019/03/28/adobe-material-construccion-sostenible/>
- Roux R. & Olivares M. (2002). Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con con fibra de coco, para muros de carga. Informes de la construcción. Pág. 39-50. Mexico.
- Saroz B., Rodríguez M., Menéndez J. & Barroso I. (2008). Estudio de la resistencia a compresión simple del adobe elaborado con suelos procedentes de Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba. Cuba: Universidad Central de Las Villas. (Consultado mayo 219). Obtenido: [https://www.researchgate.net/publication/26541181\\_Estudio\\_de\\_la\\_resistencia\\_a\\_compresion\\_simple\\_del\\_adobe\\_elaborado\\_con\\_suelos\\_procedentes\\_de\\_Crescencio\\_Valdes\\_Villa\\_Clara\\_Cuba](https://www.researchgate.net/publication/26541181_Estudio_de_la_resistencia_a_compresion_simple_del_adobe_elaborado_con_suelos_procedentes_de_Crescencio_Valdes_Villa_Clara_Cuba)
- Wilson T. (2016). Una Fibra Inca, Fique, con Futuro Maravilloso. (Consultado mayo 2019). Obtenido: <http://cuzcoeats.com/una-fibra-inca-fique-con-futuro-maravilloso/?lang=es>

## ANEXOS

### ANEXO N° 01: Caracterización del suelo fino (arcilla – limo)

Tabla 41: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra A

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso Tamiz (g) | Tamiz + Muestra (g) | Peso Retenido (g) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) |         |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------|
|       |               |                |                     |                   |                      | Retenido      | Pasante |
| 3/8"  | 9.500         | 415.35         | 415.35              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°4   | 4.750         | 316.52         | 316.52              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°8   | 2.360         | 171.81         | 171.81              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°16  | 1.180         | 127.76         | 127.8               | 0.04              | 0                    | 0             | 100     |
| N°30  | 0.600         | 124.09         | 125.16              | 1.07              | 0                    | 0             | 100     |
| N°50  | 0.300         | 123.04         | 126.02              | 2.98              | 1                    | 1             | 99      |
| N°100 | 0.150         | 114.92         | 182.15              | 67.23             | 13                   | 14            | 86      |
| N°200 | 0.075         | 248.74         | 305.9               | 57.16             | 11                   | 26            | 74      |
| FONDO |               | 218.54         | 220.63              | 371.52            | 74                   | 100           | 0       |

Tabla 42: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra B

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso Tamiz (g) | Tamiz + Muestra (g) | Peso Retenido (g) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) |         |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------|
|       |               |                |                     |                   |                      | Retenido      | Pasante |
| 3/8"  | 9.500         | 415.35         | 415.35              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°4   | 4.750         | 316.52         | 316.52              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°8   | 2.360         | 171.81         | 171.81              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°16  | 1.180         | 127.74         | 127.79              | 0.05              | 0                    | 0             | 100     |
| N°30  | 0.600         | 124.14         | 125.48              | 1.34              | 0                    | 0             | 100     |
| N°50  | 0.300         | 123.09         | 126.16              | 3.07              | 1                    | 1             | 99      |
| N°100 | 0.150         | 114.84         | 172.58              | 57.74             | 12                   | 12            | 88      |
| N°200 | 0.075         | 248.71         | 307.20              | 58.49             | 12                   | 24            | 76      |
| FONDO |               | 218.54         | 221.54              | 379.31            | 76                   | 100           | 0       |

Tabla 43: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra C

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso Tamiz (g) | Tamiz + Muestra (g) | Peso Retenido (g) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) |         |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------|
|       |               |                |                     |                   |                      | Retenido      | Pasante |
| 3/8"  | 9.500         | 415.35         | 415.35              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°4   | 4.750         | 316.52         | 316.52              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°8   | 2.360         | 171.74         | 171.74              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°16  | 1.180         | 127.66         | 127.77              | 0.11              | 0                    | 0             | 100     |
| N°30  | 0.600         | 124.06         | 125.25              | 1.19              | 0                    | 0             | 100     |
| N°50  | 0.300         | 123.00         | 125.55              | 2.55              | 1                    | 1             | 99      |
| N°100 | 0.150         | 114.82         | 166.05              | 51.23             | 10                   | 11            | 89      |
| N°200 | 0.075         | 248.78         | 295.24              | 46.46             | 9                    | 20            | 80      |
| FONDO |               | 218.48         | 220.08              | 398.46            | 80                   | 100           | 0       |

Tabla 44: Contenido de humedad del suelo fino (arcilla - limo)

| Descripción                                     | Und. | M1    | M2    | M3    |
|---|------|-------|-------|-------|
| Peso del recipiente ( $W_T$ )                   | g    | 11.27 | 11.20 | 11.36 |
| Peso del recipiente + muestra humedad ( $W_1$ ) | g    | 67.30 | 60.96 | 68.33 |
| Peso del recipiente + muestra seca ( $W_2$ )    | g    | 66.01 | 59.84 | 67.07 |
| Humedad (%)                                     |      | 2.30  | 2.25  | 2.21  |
| Promedio de humedad (%)                         |      | 2.3   |       |       |

Tabla 45: Contenido de materia orgánica del suelo fino (arcilla - limo)

| Descripción                                     | Und. | M1    | M2    | M3    |
|---|------|-------|-------|-------|
| Peso del recipiente ( $W_T$ )                   | g    | 14.11 | 18.63 | 15.08 |
| Peso del recipiente + muestra humedad ( $W_1$ ) | g    | 23.16 | 27.92 | 25.47 |
| Peso del recipiente + muestra seca ( $W_2$ )    | g    | 23.07 | 27.79 | 25.34 |
| Materia Orgánica (%)                            |      | 0.99  | 1.40  | 1.25  |
| Promedio de materia orgánica (%)                |      | 1.2   |       |       |

Tabla 46: Límite líquido del suelo fino (arcilla – limo) muestra A

| Descripción               | Und. | M1    | M2    | M3    | LL   |
|---------------------------|------|-------|-------|-------|------|
| Peso suelo húmedo + lata  | g    | 33.19 | 32.19 | 33.19 | 22.5 |
| Peso suelo seco + lata    | g    | 32.08 | 31.48 | 32.52 |      |
| Peso lata                 | g    | 28.08 | 28.7  | 28.87 |      |
| Peso suelo seco           | g    | 4.00  | 2.78  | 3.65  |      |
| Peso de agua              | g    | 1.11  | 0.71  | 0.67  |      |
| Contenido de Humedad (W%) |      | 27.75 | 25.54 | 18.36 |      |
| N° de golpes              |      | 8     | 20    | 35    |      |

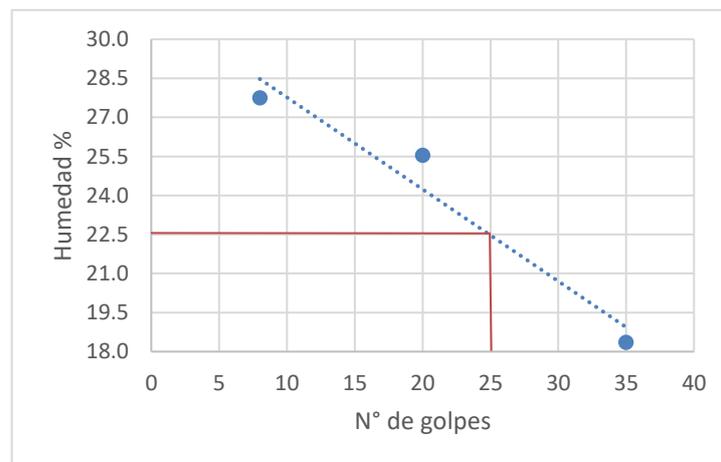


Figura 35: Porcentaje de humedad sobre el número de goles muestra A

Tabla 47: Límite líquido del suelo fino (arcilla – limo) muestra B

| Descripción               | Und. | M1    | M2    | M3    | LL   |
|---------------------------|------|-------|-------|-------|------|
| Peso suelo húmedo + lata  | g    | 30.02 | 32.78 | 33.07 | 24.1 |
| Peso suelo seco + lata    | g    | 29.23 | 31.91 | 32.39 |      |
| Peso lata                 | g    | 26.46 | 28.34 | 29.38 |      |
| Peso suelo seco           | g    | 2.77  | 3.57  | 3.01  |      |
| Peso de agua              | g    | 0.79  | 0.87  | 0.68  |      |
| Contenido de Humedad (W%) |      | 28.52 | 24.37 | 22.59 |      |
| N° de golpes              |      | 9     | 22    | 32    |      |

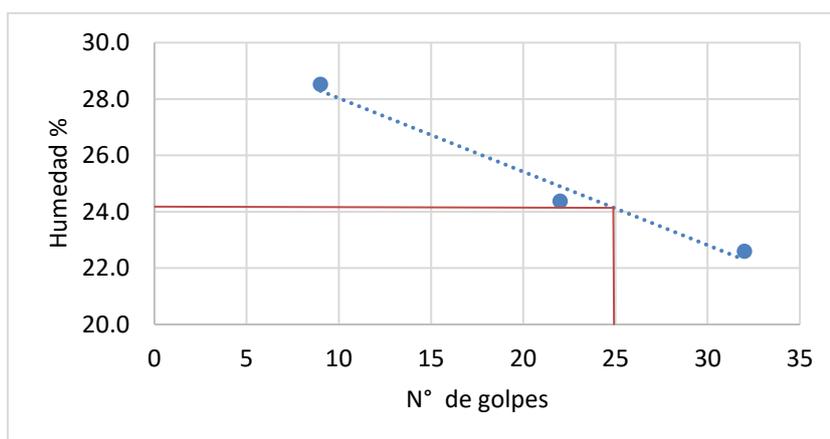


Figura 36: Porcentaje de humedad sobre el número de goles muestra B

Tabla 48: Límite líquido del suelo fino (arcilla – limo) muestra C

| Descripción               | Und. | M1    | M2    | M3    | LL   |
|---------------------------|------|-------|-------|-------|------|
| Peso suelo húmedo + lata  | g    | 41.06 | 45.71 | 42.8  | 24.7 |
| Peso suelo seco + lata    | g    | 39.95 | 44.86 | 42.21 |      |
| Peso lata                 | g    | 36.05 | 41.6  | 39.66 |      |
| Peso suelo seco           | g    | 3.90  | 3.26  | 2.55  |      |
| Peso de agua              | g    | 1.11  | 0.85  | 0.59  |      |
| Contenido de Humedad (W%) |      | 28.46 | 26.07 | 23.14 |      |
| N° de golpes              |      | 9     | 19    | 31    |      |

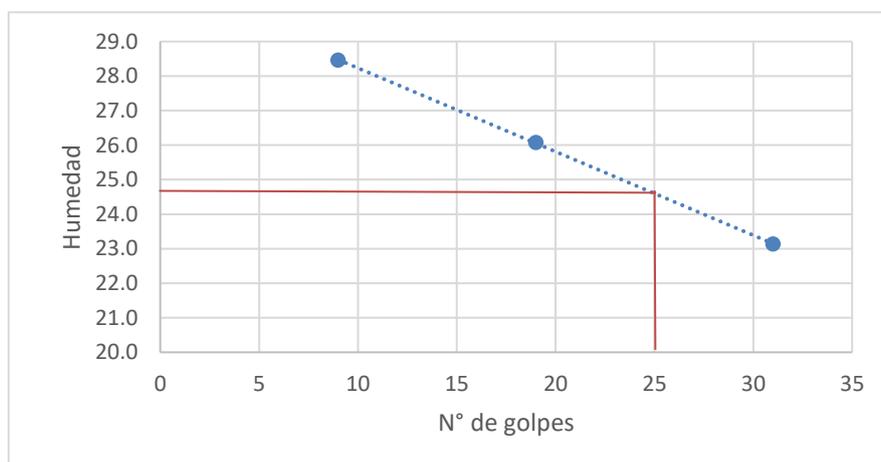


Figura 37: Porcentaje de humedad sobre el número de goles muestra C

**Tabla 49: Límite plástico del suelo fino (arcilla – limo)**

| Descripción               | Und. | M1    | M2    | M3    |
|---------------------------|------|-------|-------|-------|
| Peso suelo húmedo + lata  | g    | 41.17 | 42.57 | 29.35 |
| Peso suelo seco + lata    | g    | 41.10 | 42.49 | 29.23 |
| Peso lata                 | g    | 40.73 | 42.05 | 28.64 |
| Peso suelo seco           | g    | 0.37  | 0.44  | 0.59  |
| Peso de agua              | g    | 0.07  | 0.08  | 0.12  |
| Contenido de Humedad (W%) |      | 18.92 | 18.18 | 20.34 |
| Promedio (%)              |      | 19.15 |       |       |

**Tabla 50: Gravedad específica del suelo fino (arcilla – limo)**

| Descripción                                     | Und. | M1     | M2     | M3     |
|---|------|--------|--------|--------|
| Peso fiola (W)                                  | g    | 185.65 | 171.34 | 159.49 |
| Peso fiola + muestra seca (W + W <sub>0</sub> ) | g    | 313.65 | 299.34 | 287.49 |
| Peso fiola + muestra + agua (W <sub>1</sub> )   | g    | 764.88 | 750.43 | 739.03 |
| Peso fiola + agua (W <sub>2</sub> )             | g    | 683.96 | 669.38 | 657.75 |
| Temperatura (T)                                 | °C   | 23.20  | 23.20  | 23.20  |
| Peso de la muestra seca (W <sub>0</sub> )       | g    | 128.00 | 128.00 | 128.00 |
| Corrección por temperatura (K)                  |      | 0.9993 | 0.9993 | 0.9993 |
| Gravedad específica g/cm <sup>3</sup>           |      | 2.717  | 2.724  | 2.738  |
| Promedio  |      | 2.73   |        |        |

**Apéndice N° 02: Caracterización del agregado fino (arena gruesa)**
**Tabla 51: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra A**

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso Tamiz (g) | Tamiz + Muestra (g) | Peso Retenido (g) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) |         |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------|
|       |               |                |                     |                   |                      | Retenido      | Pasante |
| 3/8"  | 9.500         | 415.35         | 415.35              | 0                 | 0                    | 0             | 100     |
| N°4   | 4.750         | 316.55         | 335.55              | 19.00             | 4                    | 4             | 96      |
| N°8   | 2.360         | 171.8          | 253.37              | 81.57             | 16                   | 20            | 80      |
| N°16  | 1.180         | 127.73         | 169.73              | 42.00             | 8                    | 28            | 72      |
| N°30  | 0.600         | 124.15         | 181.99              | 57.84             | 11                   | 39            | 61      |
| N°50  | 0.300         | 122.93         | 173.81              | 50.88             | 10                   | 49            | 51      |
| N°100 | 0.150         | 114.66         | 337.79              | 223.13            | 44                   | 93            | 7       |
| N°200 | 0.075         | 248.78         | 281.29              | 32.51             | 6                    | 99            | 1       |
| FONDO |               | 218.48         | 221.79              | 3.31              | 1                    | 100           | 0       |

Tabla 52: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra B

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso Tamiz (g) | Tamiz + Muestra (g) | Peso Retenido (g) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) |         |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------|
|       |               |                |                     |                   |                      | Retenido      | Pasante |
| 3/8"  | 9.500         | 415.35         | 415.35              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°4   | 4.750         | 316.52         | 337.35              | 20.83             | 4                    | 4             | 96      |
| N°8   | 2.360         | 171.77         | 264.46              | 92.69             | 18                   | 22            | 78      |
| N°16  | 1.180         | 127.66         | 168.94              | 41.28             | 8                    | 30            | 70      |
| N°30  | 0.600         | 124.15         | 184.39              | 60.24             | 12                   | 42            | 58      |
| N°50  | 0.300         | 122.87         | 183.53              | 60.66             | 12                   | 54            | 46      |
| N°100 | 0.150         | 114.65         | 286.81              | 172.16            | 34                   | 88            | 12      |
| N°200 | 0.075         | 248.74         | 305.15              | 56.41             | 11                   | 99            | 1       |
| FONDO |               | 218.52         | 225.30              | 6.78              | 1                    | 100           | 0       |

Tabla 53: Análisis granulométrico del suelo fino (arcilla – limo) muestra C

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso Tamiz (g) | Tamiz + Muestra (g) | Peso Retenido (g) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) |         |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------|
|       |               |                |                     |                   |                      | Retenido      | Pasante |
| 3/8"  | 9.500         | 415.35         | 415.35              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°4   | 4.750         | 316.52         | 339.68              | 23.16             | 5                    | 5             | 95      |
| N°8   | 2.360         | 171.67         | 241.75              | 70.08             | 14                   | 18            | 82      |
| N°16  | 1.180         | 127.68         | 175.83              | 48.15             | 9                    | 28            | 72      |
| N°30  | 0.600         | 124.01         | 184.50              | 60.49             | 12                   | 40            | 60      |
| N°50  | 0.300         | 122.97         | 174.42              | 51.45             | 10                   | 50            | 50      |
| N°100 | 0.150         | 114.64         | 344.50              | 229.86            | 45                   | 95            | 5       |
| N°200 | 0.075         | 248.74         | 271.19              | 22.45             | 4                    | 99            | 1       |
| FONDO |               | 218.48         | 222.51              | 4.03              | 1                    | 100           | 0       |

Tabla 54: Contenido de humedad de la arena gruesa

| Descripción                                     | Und. | M1    | M2    | M3    |
|---|------|-------|-------|-------|
| Peso del recipiente ( $W_T$ )                   | g    | 46.97 | 46.28 | 41.58 |
| Peso del recipiente + muestra humedad ( $W_1$ ) | g    | 88.61 | 83.82 | 78.89 |
| Peso del recipiente + muestra seca ( $W_2$ )    | g    | 88.31 | 83.55 | 78.56 |
| Humedad (%)                                     |      | 0.7   | 0.7   | 0.9   |
| Promedio de humedad (%)                         |      | 0.8   |       |       |

Tabla 55: Peso específico y absorción de la arena gruesa

| Descripción  | Und.              | M1     | M2     | M3     |
|--|-------------------|--------|--------|--------|
| Peso de fiola (M)                                    | g                 | 164.13 | 168.81 | 166.46 |
| Peso de fiola + agua hasta menisco (B)               | g                 | 661.04 | 666.03 | 663.61 |
| Peso de fiola + muestra sss (N)                      | g                 | 652.04 | 654.48 | 649.5  |
| Peso de fiola + muestra sss + agua hasta menisco (C) | g                 | 969.83 | 973.01 | 969.14 |
| Peso de agua (D)                                     | g                 | 317.79 | 318.53 | 319.64 |
| Peso de recipiente (E)                               | g                 | 88.98  | 57.6   | 122.03 |
| Peso de recipiente + muestra seca (F)                | g                 | 564.7  | 531.9  | 594.13 |
| Peso muestra seca (A)                                | g                 | 475.72 | 474.3  | 472.1  |
| Peso muestra sss (S)                                 | g                 | 487.91 | 485.67 | 483.04 |
| Peso específico seco                                 | g/cm <sup>3</sup> | 2.66   | 2.65   | 2.66   |
| Peso específico saturada superficialmente seca       | g/cm <sup>3</sup> | 2.72   | 2.72   | 2.72   |
| Peso específico aparente                             | g/cm <sup>3</sup> | 2.85   | 2.83   | 2.83   |
| Absorción %  |                   | 2.56   | 2.40   | 2.32   |
| Promedio absorción %                                 |                   | 2.43   |        |        |

**Anexo N° 03:** Caracterización de la cal

**Tabla 56:** Análisis granulométrico de la cal muestra A

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso Tamiz (g) | Tamiz + Muestra (g) | Peso Retenido (g) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) |         |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------|
|       |               |                |                     |                   |                      | Retenido      | Pasante |
| 3/8"  | 9.500         | 415.35         | 415.35              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°4   | 4.750         | 316.55         | 316.55              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°8   | 2.360         | 171.8          | 171.8               | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°16  | 1.180         | 127.53         | 127.83              | 0.30              | 0                    | 0             | 100     |
| N°30  | 0.600         | 123.73         | 181.13              | 57.40             | 29                   | 29            | 71      |
| N°50  | 0.300         | 122.3          | 190.59              | 68.29             | 34                   | 63            | 37      |
| N°100 | 0.150         | 114.36         | 180.24              | 65.88             | 33                   | 96            | 4       |
| N°200 | 0.075         | 248.54         | 256.23              | 7.69              | 4                    | 100           | 0       |
| FONDO |               | 218.28         | 218.65              | 0.37              | 0                    | 100           | 0       |

**Tabla 57:** Análisis granulométrico de la cal muestra B

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso tamiz (g) | Tamiz + Muestra (g) | Peso Retenido (g) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) |         |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------|
|       |               |                |                     |                   |                      | Retenido      | Pasante |
| 3/8"  | 9.500         | 415.35         | 415.35              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°4   | 4.750         | 316.52         | 316.52              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°8   | 2.360         | 171.79         | 171.79              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°16  | 1.180         | 127.50         | 127.67              | 0.17              | 0                    | 0             | 100     |
| N°30  | 0.600         | 123.84         | 180.07              | 56.23             | 28                   | 28            | 72      |
| N°50  | 0.300         | 122.34         | 193.95              | 71.61             | 36                   | 64            | 36      |
| N°100 | 0.150         | 114.25         | 178.30              | 64.05             | 32                   | 96            | 4       |
| N°200 | 0.075         | 248.52         | 255.88              | 7.36              | 4                    | 100           | 0       |
| FONDO |               | 218.30         | 218.73              | 0.43              | 0                    | 100           | 0       |

**Tabla 58:** Análisis granulométrico de la cal muestra C

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso Tamiz (g) | Tamiz + Muestra (g) | Peso Retenido (g) | Parcial Retenido (%) | Acumulado (%) |         |
|-------|---------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|---------|
|       |               |                |                     |                   |                      | Retenido      | Pasante |
| 3/8"  | 9.500         | 415.35         | 415.35              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°4   | 4.750         | 316.52         | 316.52              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°8   | 2.360         | 171.67         | 171.67              | 0.00              | 0                    | 0             | 100     |
| N°16  | 1.180         | 127.49         | 127.72              | 0.23              | 0                    | 0             | 100     |
| N°30  | 0.600         | 123.78         | 177.80              | 54.02             | 27                   | 27            | 73      |
| N°50  | 0.300         | 122.44         | 174.23              | 51.79             | 26                   | 53            | 47      |
| N°100 | 0.150         | 114.20         | 191.20              | 77.00             | 39                   | 92            | 8       |
| N°200 | 0.075         | 248.49         | 264.87              | 16.38             | 8                    | 100           | 0       |
| FONDO |               | 218.31         | 218.85              | 0.54              | 0                    | 100           | 0       |

Tabla 59: Contenido de humedad de la cal

| Descripción                                     | Und. | M1    | M2    | M3    |
|---|------|-------|-------|-------|
| Peso del recipiente ( $W_T$ )                   | g    | 40.68 | 42.04 | 47.66 |
| Peso del recipiente + muestra humedad ( $W_1$ ) | g    | 66.66 | 65.15 | 65.85 |
| Peso del recipiente + muestra seca ( $W_2$ )    | g    | 65.71 | 64.32 | 65.19 |
| Humedad (%)                                     |      | 3.7   | 3.6   | 3.6   |
| Promedio de humedad (%)                         |      | 3.6   |       |       |

Tabla 60: Gravedad específica de la cal

| Descripción                             | Und. | F1     | F2     | F3     |
|---|------|--------|--------|--------|
| Peso fiola ( $W$ )                      | g    | 171.62 | 166.86 | 168.09 |
| Peso fiola + muestra seca ( $W + W_0$ ) | g    | 221.62 | 216.86 | 218.09 |
| Peso fiola + muestra + agua ( $W_1$ )   | g    | 699.69 | 694.7  | 697.54 |
| Peso fiola + agua ( $W_2$ )             | g    | 669.61 | 665.63 | 667.21 |
| Temperatura ( $T$ )                     | °C   | 23.2   | 23.4   | 23.1   |
| Peso de la muestra seca ( $W_0$ )       | g    | 50.00  | 50.00  | 50     |
| Corrección por temperatura ( $K$ )      |      | 0.997  | 0.997  | 0.997  |
| Gravedad específica $g/cm^3$            |      | 2.503  | 2.382  | 2.534  |
| Promedio                                |      | 2.47   |        |        |

**Anexo N°4: Resultados de los ensayos**

**Tabla 61: Resistencia a compresión de probetas mezcladas con fibra de cabuya**

| Porcentaje y tamaño de fibra de cabuya | Largo 1 (mm) | Largo 2 (mm) | Largo Promedio (mm) | Ancho 1 (mm) | Ancho 2 (mm) | Ancho promedio (mm) | Fuerza (N) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistencia Compresión (N/mm <sup>2</sup> ) | Resistencia Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|---------------------|------------|-------------------------|---|--|
| 0%/1.5 cm                              | 50.59        | 49.92        | 50.26               | 49.46        | 50.03        | 49.75               | 2022       | 2499.93                 | 0.809                                       | 8.2  |
| 0%/1.5 cm                              | 49.04        | 49.05        | 49.05               | 49.8         | 48.55        | 49.18               | 2263       | 2411.79                 | 0.938                                       | 9.6  |
| 0%/1.5 cm                              | 49.14        | 50.38        | 49.76               | 49.75        | 48.87        | 49.31               | 1864       | 2453.67                 | 0.760                                       | 7.7  |
| 0.3%/1.5 cm                            | 49.25        | 50.91        | 50.08               | 48.01        | 48.03        | 48.02               | 3189       | 2404.84                 | 1.326                                       | 13.5   |
| 0.3%/1.5 cm                            | 48.93        | 50.83        | 49.88               | 48.32        | 49.94        | 49.13               | 3015       | 2450.60                 | 1.230                                       | 12.5   |
| 0.3%/1.5 cm                            | 50.29        | 49.19        | 49.74               | 49.55        | 50.43        | 49.99               | 3230       | 2486.50                 | 1.299                                       | 13.2   |
| 0.6%/1.5 cm                            | 49.11        | 49.59        | 49.35               | 49.03        | 50.35        | 49.69               | 5448       | 2452.20                 | 2.222                                       | 22.7   |
| 0.6%/1.5 cm                            | 48.59        | 49.51        | 49.05               | 50.56        | 49.03        | 49.80               | 4908       | 2442.44                 | 2.009                                       | 20.5   |
| 0.6%/1.5 cm                            | 49.67        | 50.33        | 50.00               | 49.49        | 50.72        | 50.11               | 5254       | 2505.25                 | 2.097                                       | 21.4   |
| 0.9%/1.5 cm                            | 48.14        | 49.44        | 48.79               | 50.17        | 50.51        | 50.34               | 6446       | 2456.09                 | 2.624                                       | 26.8   |
| 0.9%/1.5 cm                            | 48.95        | 50.53        | 49.74               | 49.28        | 50.57        | 49.93               | 6372       | 2483.27                 | 2.566                                       | 26.2   |
| 0.9%/1.5 cm                            | 48.96        | 48.88        | 48.92               | 50.26        | 50.27        | 50.27               | 6350       | 2458.96                 | 2.582                                       | 26.3   |
| 1.2%/1.5 cm                            | 49.18        | 49.24        | 49.21               | 48.64        | 48.88        | 48.76               | 6854       | 2399.48                 | 2.856                                       | 29.1   |
| 1.2%/1.5 cm                            | 48.05        | 50.93        | 49.49               | 50.69        | 48.33        | 49.51               | 7092       | 2450.25                 | 2.894                                       | 29.5   |
| 1.2%/1.5 cm                            | 48.77        | 48.22        | 48.50               | 48.16        | 50.17        | 49.17               | 6994       | 2384.26                 | 2.933                                       | 29.9   |
| 0%/3 cm                                | 50.55        | 49.97        | 50.26               | 48.77        | 50.35        | 49.56               | 1967       | 2490.89                 | 0.789                                       | 8.1  |
| 0%/3 cm                                | 50.44        | 50.39        | 50.42               | 50.9         | 49.83        | 50.37               | 2035       | 2539.15                 | 0.801                                       | 8.2  |
| 0%/3 cm                                | 49.54        | 49.4         | 49.47               | 50.88        | 48.99        | 49.94               | 1820       | 2470.28                 | 0.737                                       | 7.5  |
| 0.3%/3 cm                              | 50.38        | 50.79        | 50.59               | 50.79        | 48.41        | 49.60               | 3933       | 2509.02                 | 1.568                                       | 16.0   |
| 0.3%/3 cm                              | 49.26        | 48.14        | 48.70               | 49.9         | 49.53        | 49.72               | 4145       | 2421.12                 | 1.712                                       | 17.5   |
| 0.3%/3 cm                              | 48.86        | 48.35        | 48.61               | 50.84        | 50.32        | 50.58               | 3975       | 2458.44                 | 1.617                                       | 16.5   |
| 0.6%/3 cm                              | 48.48        | 49.54        | 49.01               | 49.83        | 50.32        | 50.08               | 7118       | 2454.18                 | 2.900                                       | 29.6   |
| 0.6%/3 cm                              | 48.88        | 50.49        | 49.69               | 50.79        | 48.14        | 49.47               | 7201       | 2457.67                 | 2.930                                       | 29.9   |
| 0.6%/3 cm                              | 49.79        | 50.71        | 50.25               | 50.34        | 48.54        | 49.44               | 7194       | 2484.36                 | 2.896                                       | 29.5   |
| 0.9%/3 cm                              | 48.98        | 50.07        | 49.53               | 50.15        | 48.96        | 49.56               | 8351       | 2454.21                 | 3.403                                       | 34.7   |
| 0.9%/3 cm                              | 50.47        | 48.79        | 49.63               | 50.72        | 49.18        | 49.95               | 8176       | 2479.02                 | 3.298                                       | 33.6   |
| 0.9%/3 cm                              | 48.8         | 49.83        | 49.32               | 48.71        | 49.65        | 49.18               | 8140       | 2425.31                 | 3.356                                       | 34.2   |
| 1.2%/3 cm                              | 48.46        | 48.33        | 48.40               | 49.86        | 49.76        | 49.81               | 8557       | 2410.55                 | 3.550                                       | 36.2   |
| 1.2%/3 cm                              | 48.4         | 49.34        | 48.87               | 50.34        | 49.42        | 49.88               | 8248       | 2437.64                 | 3.384                                       | 34.5   |
| 1.2%/3 cm                              | 48.81        | 50.79        | 49.80               | 49.28        | 49.76        | 49.52               | 8731       | 2466.10                 | 3.540                                       | 36.1   |
| 0%/4.5 cm                              | 49.15        | 50.9         | 50.03               | 49.15        | 50.8         | 49.98               | 2153       | 2500.00                 | 0.861                                       | 8.8  |
| 0%/4.5 cm                              | 50.21        | 48.33        | 49.27               | 49.21        | 48.87        | 49.04               | 2477       | 2416.20                 | 1.025                                       | 10.5   |
| 0%/4.5 cm                              | 48.96        | 50.04        | 49.50               | 50.65        | 50.88        | 50.77               | 2133       | 2512.87                 | 0.849                                       | 8.7  |
| 0.3%/4.5 cm                            | 49.11        | 48.64        | 48.88               | 48.89        | 50.48        | 49.69               | 5397       | 2428.35                 | 2.222                                       | 22.7   |
| 0.3%/4.5 cm                            | 49.75        | 50.22        | 49.99               | 48.43        | 49.63        | 49.03               | 5109       | 2450.76                 | 2.085                                       | 21.3   |
| 0.3%/4.5 cm                            | 48.04        | 50.47        | 49.26               | 49.6         | 48.69        | 49.15               | 5214       | 2420.64                 | 2.154                                       | 22.0   |
| 0.6%/4.5 cm                            | 48.67        | 50.94        | 49.81               | 48.5         | 48.31        | 48.41               | 7501       | 2410.81                 | 3.111                                       | 31.7   |
| 0.6%/4.5 cm                            | 49.95        | 50.45        | 50.20               | 49.54        | 50.3         | 49.92               | 7564       | 2505.98                 | 3.018                                       | 30.8   |
| 0.6%/4.5 cm                            | 48.6         | 49.49        | 49.05               | 50.7         | 49.02        | 49.86               | 7742       | 2445.38                 | 3.166                                       | 32.3   |
| 0.9%/4.5 cm                            | 48.09        | 48.16        | 48.13               | 50.62        | 48.75        | 49.69               | 8377       | 2391.09                 | 3.503                                       | 35.7   |
| 0.9%/4.5 cm                            | 48.65        | 50.02        | 49.34               | 48.65        | 50.87        | 49.76               | 8310       | 2454.91                 | 3.385                                       | 34.5   |
| 0.9%/4.5 cm                            | 48.58        | 50.67        | 49.63               | 48.82        | 50.05        | 49.44               | 8073       | 2453.21                 | 3.291                                       | 33.6   |
| 1.2%/4.5 cm                            | 49.77        | 48.98        | 49.38               | 50.46        | 49.25        | 49.86               | 8617       | 2461.59                 | 3.501                                       | 35.7   |
| 1.2%/4.5 cm                            | 50.9         | 48.15        | 49.53               | 48.56        | 50.84        | 49.70               | 8423       | 2461.39                 | 3.422                                       | 34.9   |
| 1.2%/4.5 cm                            | 49.99        | 50.94        | 50.47               | 48.37        | 49.67        | 49.02               | 8942       | 2473.79                 | 3.615                                       | 36.9   |

Tabla 62: Resistencia a compresión de probetas mezcladas con fibra de paja de trigo

| Porcentaje y tamaño de fibra de paja de trigo | Largo 1 (mm) | Largo 2 (mm) | Largo Promedio (mm) | Ancho 1 (mm) | Ancho 2 (mm) | Ancho promedio (mm) | Fuerza (N) | Área (mm <sup>2</sup> ) | Resistencia Compresión (N/mm <sup>2</sup> ) | Resistencia Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|---|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|---------------------|------------|-------------------------|---|--|
| 0%/1.5 cm                                     | 49.72        | 48.56        | 49.14               | 50.02        | 48.85        | 49.44               | 2007       | 2429.24                 | 0.826                                       | 8.4  |
| 0%/1.5 cm                                     | 48.75        | 50.65        | 49.70               | 49.06        | 50.73        | 49.90               | 2095       | 2479.78                 | 0.845                                       | 8.6  |
| 0%/1.5 cm                                     | 49.61        | 50.84        | 50.23               | 50.89        | 48.49        | 49.69               | 1980       | 2495.68                 | 0.793                                       | 8.1  |
| 0.3%/1.5 cm                                   | 48.25        | 48.66        | 48.46               | 48.47        | 48.34        | 48.41               | 1197       | 2345.46                 | 0.510                                       | 5.2  |
| 0.3%/1.5 cm                                   | 49.93        | 49.16        | 49.55               | 50.81        | 48.09        | 49.45               | 1355       | 2450.00                 | 0.553                                       | 5.6  |
| 0.3%/1.5 cm                                   | 50.3         | 48.66        | 49.48               | 49.35        | 49.1         | 49.23               | 1236       | 2435.65                 | 0.507                                       | 5.2  |
| 0.6%/1.5 cm                                   | 49.27        | 50.09        | 49.68               | 49.07        | 49.24        | 49.16               | 1781       | 2442.02                 | 0.729                                       | 7.4  |
| 0.6%/1.5 cm                                   | 48.48        | 49.24        | 48.86               | 50.13        | 50.87        | 50.50               | 1833       | 2467.43                 | 0.743                                       | 7.6  |
| 0.6%/1.5 cm                                   | 49.54        | 48.5         | 49.02               | 50.72        | 49.5         | 50.11               | 1784       | 2456.39                 | 0.726                                       | 7.4  |
| 0.9%/1.5 cm                                   | 50.78        | 49.59        | 50.19               | 49.15        | 48.93        | 49.04               | 4423       | 2461.07                 | 1.797                                       | 18.3   |
| 0.9%/1.5 cm                                   | 49.5         | 49.92        | 49.71               | 49.69        | 48.07        | 48.88               | 4295       | 2429.82                 | 1.768                                       | 18.0   |
| 0.9%/1.5 cm                                   | 48.21        | 50.04        | 49.13               | 50.51        | 48.38        | 49.45               | 4306       | 2428.99                 | 1.773                                       | 18.1   |
| 1.2%/1.5 cm                                   | 50.9         | 48.54        | 49.72               | 50.52        | 50.83        | 50.68               | 5726       | 2519.56                 | 2.273                                       | 23.2   |
| 1.2%/1.5 cm                                   | 50.54        | 48.19        | 49.37               | 50.53        | 50           | 50.27               | 5402       | 2481.33                 | 2.177                                       | 22.2   |
| 1.2%/1.5 cm                                   | 50.12        | 50.16        | 50.14               | 49.3         | 48.3         | 48.80               | 5577       | 2446.83                 | 2.279                                       | 23.2   |
| 0%/3 cm                                       | 50.46        | 49.25        | 49.86               | 50.64        | 50.8         | 50.72               | 1823       | 2528.65                 | 0.721                                       | 7.4  |
| 0%/3 cm                                       | 49.64        | 49.32        | 49.48               | 49.37        | 50.7         | 50.04               | 1985       | 2475.73                 | 0.802                                       | 8.2  |
| 0%/3 cm                                       | 49.81        | 49.88        | 49.85               | 49.63        | 50.16        | 49.90               | 2182       | 2487.02                 | 0.877                                       | 8.9  |
| 0.3%/3 cm                                     | 49.61        | 48.43        | 49.02               | 49.6         | 49.47        | 49.54               | 2246       | 2428.21                 | 0.925                                       | 9.4  |
| 0.3%/3 cm                                     | 49.12        | 48.87        | 49.00               | 48.97        | 48.85        | 48.91               | 2345       | 2396.35                 | 0.979                                       | 10.0   |
| 0.3%/3 cm                                     | 50.61        | 50.56        | 50.59               | 49.09        | 50.45        | 49.77               | 2361       | 2517.62                 | 0.938                                       | 9.6  |
| 0.6%/3 cm                                     | 48.02        | 49.52        | 48.77               | 49.25        | 49.32        | 49.29               | 2547       | 2403.63                 | 1.060                                       | 10.8   |
| 0.6%/3 cm                                     | 48.56        | 50.82        | 49.69               | 49.79        | 49.2         | 49.50               | 2641       | 2459.41                 | 1.074                                       | 11.0   |
| 0.6%/3 cm                                     | 48.97        | 50.57        | 49.77               | 50.85        | 50.42        | 50.64               | 2453       | 2520.10                 | 0.973                                       | 9.9  |
| 0.9%/3 cm                                     | 49.92        | 48.48        | 49.20               | 49.66        | 49.75        | 49.71               | 6205       | 2445.49                 | 2.537                                       | 25.9   |
| 0.9%/3 cm                                     | 50.4         | 50.99        | 50.70               | 49.54        | 49.54        | 49.54               | 5851       | 2511.43                 | 2.330                                       | 23.8   |
| 0.9%/3 cm                                     | 48.25        | 49.15        | 48.70               | 50.72        | 49.84        | 50.28               | 6140       | 2448.64                 | 2.508                                       | 25.6   |
| 1.2%/3 cm                                     | 48.07        | 50.99        | 49.53               | 49.12        | 49.5         | 49.31               | 3927       | 2442.32                 | 1.608                                       | 16.4   |
| 1.2%/3 cm                                     | 48.81        | 49.73        | 49.27               | 49.07        | 49.42        | 49.25               | 4011       | 2426.30                 | 1.653                                       | 16.9   |
| 1.2%/3 cm                                     | 48.4         | 50.12        | 49.26               | 48.63        | 49.14        | 48.89               | 3850       | 2408.08                 | 1.599                                       | 16.3   |
| 0%/4.5 cm                                     | 49.33        | 48.91        | 49.12               | 49.31        | 48.65        | 48.98               | 1801       | 2405.90                 | 0.749                                       | 7.6  |
| 0%/4.5 cm                                     | 49.89        | 49.61        | 49.75               | 49.32        | 48.52        | 48.92               | 2021       | 2433.77                 | 0.830                                       | 8.5  |
| 0%/4.5 cm                                     | 48.16        | 49.61        | 48.89               | 49.12        | 49.65        | 49.39               | 2200       | 2414.19                 | 0.911                                       | 9.3  |
| 0.3%/4.5 cm                                   | 48.02        | 49.25        | 48.64               | 50.83        | 49.3         | 50.07               | 2200       | 2434.91                 | 0.904                                       | 9.2  |
| 0.3%/4.5 cm                                   | 49.26        | 48.75        | 49.01               | 48.68        | 48.31        | 48.50               | 2090       | 2376.50                 | 0.879                                       | 9.0  |
| 0.3%/4.5 cm                                   | 50.96        | 48.58        | 49.77               | 50.34        | 48.15        | 49.25               | 2144       | 2450.92                 | 0.875                                       | 8.9  |
| 0.6%/4.5 cm                                   | 50.69        | 48.65        | 49.67               | 48.19        | 50.74        | 49.47               | 2633       | 2456.93                 | 1.072                                       | 10.9   |
| 0.6%/4.5 cm                                   | 50.27        | 50.35        | 50.31               | 48.11        | 49.71        | 48.91               | 2657       | 2460.66                 | 1.080                                       | 11.0   |
| 0.6%/4.5 cm                                   | 48.92        | 49.39        | 49.16               | 48.02        | 50.46        | 49.24               | 2784       | 2420.39                 | 1.150                                       | 11.7   |
| 0.9%/4.5 cm                                   | 49.6         | 48.09        | 48.85               | 48.51        | 48.31        | 48.41               | 4222       | 2364.59                 | 1.786                                       | 18.2   |
| 0.9%/4.5 cm                                   | 50.12        | 48.36        | 49.24               | 49.41        | 49.92        | 49.67               | 4192       | 2445.50                 | 1.714                                       | 17.5   |
| 0.9%/4.5 cm                                   | 50.29        | 49.59        | 49.94               | 50.13        | 50.19        | 50.16               | 4021       | 2504.99                 | 1.605                                       | 16.4   |
| 1.2%/4.5 cm                                   | 49.33        | 49.67        | 49.50               | 48.17        | 50.7         | 49.44               | 3545       | 2447.03                 | 1.449                                       | 14.8   |
| 1.2%/4.5 cm                                   | 48.07        | 48.71        | 48.39               | 50.9         | 50.97        | 50.94               | 3597       | 2464.74                 | 1.459                                       | 14.9   |
| 1.2%/4.5 cm                                   | 50.02        | 50.36        | 50.19               | 48.17        | 50.82        | 49.50               | 3409       | 2484.15                 | 1.372                                       | 14.0   |

**Tabla 63: Contracción de probetas mezcladas con fibra de cabuya**

| Porcentaje y tamaño de fibra de cabuya | Medidas (mm) |        |          |        | Volumen (mm <sup>3</sup> ) |        | Contracción diametral (mm) | Contracción lineal (mm) | Contracción (%) |
|--|--------------|--------|----------|--------|----------------------------|--------|----------------------------|-------------------------|-----------------|
|  | Iniciales    |        | Finales  |        | Inicial                    | Final  |                            |                         |                 |
|  | Diámetro     | Altura | Diámetro | Altura |                            |        |                            |                         |                 |
| 0%/1.5 cm                              | 75.51        | 22.64  | 73.41    | 22.04  | 101334                     | 93238  | 2.10                       | 0.60                    | 7.99            |
| 0%/1.5 cm                              | 75.43        | 22.58  | 73.44    | 21.97  | 100851                     | 93018  | 1.99                       | 0.61                    | 7.77            |
| 0%/1.5 cm                              | 75.68        | 22.57  | 73.46    | 21.81  | 101476                     | 92390  | 2.22                       | 0.76                    | 8.95            |
| 0.3%/1.5 cm                            | 75.52        | 22.49  | 73.89    | 22.10  | 100665                     | 94695  | 1.63                       | 0.39                    | 5.93            |
| 0.3%/1.5 cm                            | 75.53        | 22.42  | 73.82    | 22.22  | 100389                     | 95063  | 1.71                       | 0.20                    | 5.31            |
| 0.3%/1.5 cm                            | 75.55        | 22.41  | 73.89    | 22.01  | 100386                     | 94330  | 1.66                       | 0.40                    | 6.03            |
| 0.6%/1.5 cm                            | 75.59        | 22.64  | 74.13    | 22.31  | 101524                     | 96238  | 1.46                       | 0.32                    | 5.21            |
| 0.6%/1.5 cm                            | 75.61        | 22.67  | 74.14    | 22.45  | 101735                     | 96860  | 1.47                       | 0.22                    | 4.79            |
| 0.6%/1.5 cm                            | 75.57        | 22.31  | 74.26    | 21.97  | 100027                     | 95117  | 1.31                       | 0.34                    | 4.91            |
| 0.9%/1.5 cm                            | 75.51        | 22.97  | 74.32    | 22.57  | 102800                     | 97827  | 1.19                       | 0.40                    | 4.84            |
| 0.9%/1.5 cm                            | 75.49        | 22.41  | 74.47    | 22.18  | 100238                     | 96535  | 1.02                       | 0.23                    | 3.69            |
| 0.9%/1.5 cm                            | 75.45        | 23.41  | 74.34    | 23.14  | 104611                     | 100398 | 1.10                       | 0.27                    | 4.03            |
| 1.2%/1.5 cm                            | 75.49        | 22.62  | 74.54    | 22.33  | 101202                     | 97384  | 0.95                       | 0.30                    | 3.77            |
| 1.2%/1.5 cm                            | 75.60        | 22.96  | 74.68    | 22.80  | 103009                     | 99806  | 0.92                       | 0.16                    | 3.11            |
| 1.2%/1.5 cm                            | 75.50        | 22.45  | 74.73    | 22.23  | 100435                     | 97443  | 0.77                       | 0.22                    | 2.98            |
| 0%/3 cm                                | 75.71        | 22.52  | 73.37    | 22.03  | 101332                     | 93094  | 2.34                       | 0.49                    | 8.13            |
| 0%/3 cm                                | 75.73        | 22.65  | 73.44    | 22.09  | 101970                     | 93526  | 2.29                       | 0.56                    | 8.28            |
| 0%/3 cm                                | 75.38        | 22.52  | 73.38    | 22.09  | 100450                     | 93373  | 2.00                       | 0.43                    | 7.05            |
| 0.3%/3 cm                              | 75.55        | 22.91  | 74.08    | 22.68  | 102615                     | 97691  | 1.47                       | 0.23                    | 4.80            |
| 0.3%/3 cm                              | 75.69        | 22.18  | 74.35    | 21.92  | 99749                      | 95086  | 1.35                       | 0.27                    | 4.68            |
| 0.3%/3 cm                              | 75.56        | 22.42  | 74.36    | 22.25  | 100447                     | 96578  | 1.20                       | 0.16                    | 3.85            |
| 0.6%/3 cm                              | 75.56        | 23.35  | 74.33    | 23.14  | 104639                     | 100371 | 1.23                       | 0.20                    | 4.08            |
| 0.6%/3 cm                              | 75.44        | 22.75  | 74.22    | 22.57  | 101602                     | 97596  | 1.22                       | 0.17                    | 3.94            |
| 0.6%/3 cm                              | 75.72        | 22.64  | 74.46    | 22.48  | 101862                     | 97817  | 1.26                       | 0.16                    | 3.97            |
| 0.9%/3 cm                              | 75.60        | 22.89  | 74.48    | 22.72  | 102709                     | 98948  | 1.12                       | 0.17                    | 3.66            |
| 0.9%/3 cm                              | 75.71        | 22.17  | 74.84    | 22.03  | 99734                      | 96860  | 0.88                       | 0.13                    | 2.88            |
| 0.9%/3 cm                              | 75.54        | 23.07  | 74.64    | 22.89  | 103338                     | 100117 | 0.89                       | 0.18                    | 3.12            |
| 1.2%/3 cm                              | 75.52        | 21.93  | 74.72    | 21.81  | 98147                      | 95576  | 0.80                       | 0.12                    | 2.62            |
| 1.2%/3 cm                              | 75.63        | 22.73  | 74.82    | 22.62  | 102036                     | 99381  | 0.81                       | 0.11                    | 2.60            |
| 1.2%/3 cm                              | 75.64        | 22.82  | 74.85    | 22.65  | 102469                     | 99590  | 0.80                       | 0.17                    | 2.81            |
| 0%/4.5 cm                              | 75.56        | 22.51  | 73.45    | 21.98  | 100886                     | 93085  | 2.11                       | 0.53                    | 7.73            |
| 0%/4.5 cm                              | 75.63        | 22.64  | 73.51    | 21.82  | 101656                     | 92559  | 2.12                       | 0.82                    | 8.95            |
| 0%/4.5 cm                              | 75.3         | 22.59  | 73.51    | 21.88  | 100549                     | 92813  | 1.79                       | 0.71                    | 7.69            |
| 0.3%/4.5 cm                            | 75.46        | 22.90  | 74.44    | 22.58  | 102362                     | 98187  | 1.02                       | 0.32                    | 4.08            |
| 0.3%/4.5 cm                            | 75.55        | 22.60  | 74.45    | 22.40  | 101273                     | 97462  | 1.11                       | 0.20                    | 3.76            |
| 0.3%/4.5 cm                            | 75.48        | 22.16  | 74.47    | 21.94  | 99118                      | 95512  | 1.02                       | 0.22                    | 3.64            |
| 0.6%/4.5 cm                            | 75.49        | 21.83  | 74.62    | 21.64  | 97644                      | 94576  | 0.87                       | 0.19                    | 3.14            |
| 0.6%/4.5 cm                            | 75.35        | 22.54  | 74.51    | 22.36  | 100448                     | 97445  | 0.84                       | 0.18                    | 2.99            |
| 0.6%/4.5 cm                            | 75.49        | 22.32  | 74.72    | 22.10  | 99860                      | 96858  | 0.77                       | 0.22                    | 3.01            |
| 0.9%/4.5 cm                            | 75.57        | 22.41  | 74.53    | 22.27  | 100462                     | 97083  | 1.04                       | 0.15                    | 3.36            |
| 0.9%/4.5 cm                            | 75.44        | 23.26  | 74.74    | 23.07  | 103927                     | 101141 | 0.70                       | 0.20                    | 2.68            |
| 0.9%/4.5 cm                            | 75.55        | 22.75  | 74.62    | 22.64  | 101932                     | 98959  | 0.92                       | 0.11                    | 2.92            |
| 1.2%/4.5 cm                            | 75.47        | 22.76  | 74.99    | 22.68  | 101741                     | 100120 | 0.48                       | 0.07                    | 1.59            |
| 1.2%/4.5 cm                            | 75.61        | 22.59  | 74.99    | 22.42  | 101378                     | 98948  | 0.63                       | 0.17                    | 2.40            |
| 1.2%/4.5 cm                            | 75.57        | 22.54  | 75.15    | 22.46  | 101033                     | 99548  | 0.42                       | 0.08                    | 1.47            |

**Tabla 64: Contracción de probetas mezcladas con fibra de paja de trigo**

| Porcentaje y tamaño de fibra de paja de trigo | Medidas (mm) |        |          |        | Volumen (mm <sup>3</sup> ) |        | Contracción diametral (mm) | Contracción lineal (mm) | Contracción (%) |
|---|--------------|--------|----------|--------|----------------------------|--------|----------------------------|-------------------------|-----------------|
|   | Iniciales    |        | Finales  |        | Inicial                    | Final  |                            |                         |                 |
|   | Diámetro     | Altura | Diámetro | Altura |                            |        |                            |                         |                 |
| 0%/1.5 cm                                     | 75.44        | 22.5   | 73.34    | 22.04  | 100521                     | 93060  | 2.10                       | 0.46                    | 7.42            |
| 0%/1.5 cm                                     | 75.69        | 22.61  | 73.33    | 21.85  | 101683                     | 92233  | 2.36                       | 0.76                    | 9.29            |
| 0%/1.5 cm                                     | 75.7         | 22.61  | 73.44    | 21.94  | 101710                     | 92891  | 2.26                       | 0.67                    | 8.67            |
| 0.3%/1.5 cm                                   | 75.53        | 22.99  | 74.10    | 22.59  | 102933                     | 97359  | 1.43                       | 0.40                    | 5.42            |
| 0.3%/1.5 cm                                   | 75.46        | 22.53  | 74.12    | 22.22  | 100686                     | 95805  | 1.34                       | 0.31                    | 4.85            |
| 0.3%/1.5 cm                                   | 75.67        | 22.85  | 74.17    | 22.44  | 102719                     | 96903  | 1.51                       | 0.41                    | 5.66            |
| 0.6%/1.5 cm                                   | 75.55        | 22.80  | 74.24    | 22.52  | 102147                     | 97411  | 1.32                       | 0.28                    | 4.64            |
| 0.6%/1.5 cm                                   | 75.65        | 22.74  | 74.40    | 22.44  | 102123                     | 97486  | 1.24                       | 0.30                    | 4.54            |
| 0.6%/1.5 cm                                   | 75.64        | 22.54  | 74.44    | 22.30  | 101245                     | 97014  | 1.20                       | 0.24                    | 4.18            |
| 0.9%/1.5 cm                                   | 75.43        | 22.55  | 74.33    | 22.28  | 100682                     | 96609  | 1.10                       | 0.27                    | 4.05            |
| 0.9%/1.5 cm                                   | 75.58        | 22.99  | 74.45    | 22.78  | 103091                     | 99094  | 1.14                       | 0.21                    | 3.88            |
| 0.9%/1.5 cm                                   | 75.61        | 22.51  | 74.53    | 22.28  | 100995                     | 97149  | 1.08                       | 0.22                    | 3.81            |
| 1.2%/1.5 cm                                   | 75.51        | 22.74  | 74.52    | 22.59  | 101768                     | 98465  | 0.98                       | 0.15                    | 3.25            |
| 1.2%/1.5 cm                                   | 75.65        | 22.48  | 74.68    | 22.30  | 100989                     | 97606  | 0.97                       | 0.18                    | 3.35            |
| 1.2%/1.5 cm                                   | 75.56        | 22.53  | 74.62    | 22.43  | 100973                     | 98041  | 0.94                       | 0.10                    | 2.90            |
| 0%/3 cm                                       | 75.65        | 22.6   | 73.3     | 22.07  | 101530                     | 93085  | 2.35                       | 0.53                    | 8.32            |
| 0%/3 cm                                       | 75.34        | 22.53  | 73.47    | 22.06  | 100388                     | 93475  | 1.87                       | 0.47                    | 6.89            |
| 0%/3 cm                                       | 75.65        | 22.54  | 73.54    | 21.88  | 101261                     | 92889  | 2.11                       | 0.66                    | 8.27            |
| 0.3%/3 cm                                     | 75.55        | 22.53  | 74.20    | 22.34  | 100926                     | 96530  | 1.35                       | 0.19                    | 4.36            |
| 0.3%/3 cm                                     | 75.71        | 22.53  | 74.38    | 22.32  | 101352                     | 96912  | 1.33                       | 0.21                    | 4.38            |
| 0.3%/3 cm                                     | 75.45        | 22.75  | 74.16    | 22.52  | 101662                     | 97236  | 1.29                       | 0.23                    | 4.35            |
| 0.6%/3 cm                                     | 75.57        | 22.35  | 74.31    | 22.21  | 100193                     | 96275  | 1.26                       | 0.14                    | 3.91            |
| 0.6%/3 cm                                     | 75.47        | 22.98  | 74.26    | 22.87  | 102744                     | 99013  | 1.21                       | 0.11                    | 3.63            |
| 0.6%/3 cm                                     | 75.43        | 22.84  | 74.27    | 22.70  | 102001                     | 98304  | 1.16                       | 0.13                    | 3.63            |
| 0.9%/3 cm                                     | 75.65        | 22.44  | 74.55    | 22.34  | 100789                     | 97452  | 1.11                       | 0.09                    | 3.31            |
| 0.9%/3 cm                                     | 75.51        | 22.19  | 74.52    | 22.11  | 99297                      | 96373  | 0.99                       | 0.08                    | 2.95            |
| 0.9%/3 cm                                     | 75.40        | 22.62  | 74.44    | 22.51  | 100939                     | 97904  | 0.97                       | 0.11                    | 3.01            |
| 1.2%/3 cm                                     | 75.70        | 22.73  | 74.77    | 22.65  | 102249                     | 99399  | 0.93                       | 0.08                    | 2.79            |
| 1.2%/3 cm                                     | 75.73        | 22.30  | 74.86    | 22.31  | 100359                     | 98123  | 0.86                       | -0.01                   | 2.23            |
| 1.2%/3 cm                                     | 75.46        | 22.53  | 74.58    | 22.53  | 100672                     | 98373  | 0.88                       | 0.00                    | 2.28            |
| 0%/4.5 cm                                     | 75.41        | 22.55  | 73.39    | 21.86  | 100664                     | 92426  | 2.02                       | 0.69                    | 8.18            |
| 0%/4.5 cm                                     | 75.79        | 22.5   | 73.33    | 22.03  | 101456                     | 92992  | 2.46                       | 0.47                    | 8.34            |
| 0%/4.5 cm                                     | 75.36        | 22.62  | 73.31    | 21.95  | 100843                     | 92604  | 2.05                       | 0.67                    | 8.17            |
| 0.3%/4.5 cm                                   | 75.62        | 22.19  | 74.57    | 21.98  | 99587                      | 95922  | 1.06                       | 0.21                    | 3.68            |
| 0.3%/4.5 cm                                   | 75.47        | 22.38  | 74.48    | 22.16  | 100040                     | 96474  | 0.99                       | 0.22                    | 3.56            |
| 0.3%/4.5 cm                                   | 75.41        | 22.09  | 74.43    | 21.90  | 98586                      | 95214  | 0.98                       | 0.19                    | 3.42            |
| 0.6%/4.5 cm                                   | 75.58        | 22.44  | 74.74    | 22.29  | 100636                     | 97730  | 0.84                       | 0.15                    | 2.89            |
| 0.6%/4.5 cm                                   | 75.54        | 22.60  | 74.75    | 22.42  | 101224                     | 98317  | 0.79                       | 0.18                    | 2.87            |
| 0.6%/4.5 cm                                   | 75.49        | 22.60  | 74.68    | 22.40  | 101066                     | 98057  | 0.80                       | 0.20                    | 2.98            |
| 0.9%/4.5 cm                                   | 75.58        | 22.65  | 74.94    | 22.51  | 101556                     | 99226  | 0.64                       | 0.14                    | 2.29            |
| 0.9%/4.5 cm                                   | 75.51        | 22.89  | 74.89    | 22.79  | 102453                     | 100337 | 0.62                       | 0.10                    | 2.07            |
| 0.9%/4.5 cm                                   | 75.61        | 22.92  | 75.05    | 22.82  | 102823                     | 100874 | 0.56                       | 0.10                    | 1.90            |
| 1.2%/4.5 cm                                   | 75.52        | 22.36  | 75.08    | 22.35  | 100094                     | 98878  | 0.43                       | 0.02                    | 1.22            |
| 1.2%/4.5 cm                                   | 75.47        | 22.69  | 74.96    | 22.72  | 101461                     | 100205 | 0.51                       | -0.03                   | 1.24            |
| 1.2%/4.5 cm                                   | 75.50        | 22.24  | 75.02    | 22.25  | 99515                      | 98300  | 0.47                       | -0.01                   | 1.22            |

**Tabla 65: Durabilidad de probetas mezcladas con fibra de cabuya**

| Porcentaje y tamaño de fibra de cabuya | Pesos iniciales (g) | Pesos después de 2 días sumergido en el agua (g) | Pérdida de masa (g) | Pérdida de masa (%) |
|--|---------------------|--|---------------------|---------------------|
| 0%/1.5 cm                              | 267.07              | 252.37   | 14.7                | 5.50                |
| 0%/1.5 cm                              | 263.32              | 248.65   | 14.67               | 5.57                |
| 0%/1.5 cm                              | 261.14              | 247.01   | 14.13               | 5.41                |
| 0.3%/1.5 cm                            | 261.02              | 255.23   | 5.79                | 2.22                |
| 0.3%/1.5 cm                            | 244.10              | 238.99   | 5.11                | 2.09                |
| 0.3%/1.5 cm                            | 259.81              | 254.25   | 5.56                | 2.14                |
| 0.6%/1.5 cm                            | 268.70              | 263.56   | 5.14                | 1.91                |
| 0.6%/1.5 cm                            | 261.20              | 256.13   | 5.07                | 1.94                |
| 0.6%/1.5 cm                            | 267.27              | 261.99   | 5.28                | 1.98                |
| 0.9%/1.5 cm                            | 254.97              | 250.34   | 4.63                | 1.82                |
| 0.9%/1.5 cm                            | 263.23              | 258.51   | 4.72                | 1.79                |
| 0.9%/1.5 cm                            | 236.52              | 232.42   | 4.1                 | 1.73                |
| 1.2%/1.5 cm                            | 253.69              | 249.74   | 3.95                | 1.56                |
| 1.2%/1.5 cm                            | 257.22              | 253.07   | 4.15                | 1.61                |
| 1.2%/1.5 cm                            | 229.84              | 226.04   | 3.8                 | 1.65                |
| 0%/3 cm                                | 256.36              | 245.01   | 11.35               | 4.43                |
| 0%/3 cm                                | 266.92              | 254.3  | 12.62               | 4.73                |
| 0%/3 cm                                | 260.36              | 244.72   | 15.64               | 6.01                |
| 0.3%/3 cm                              | 260.94              | 255.87   | 5.07                | 1.94                |
| 0.3%/3 cm                              | 253.88              | 248.95   | 4.93                | 1.94                |
| 0.3%/3 cm                              | 255.52              | 250.42   | 5.1                 | 2.00                |
| 0.6%/3 cm                              | 258.33              | 253.66   | 4.67                | 1.81                |
| 0.6%/3 cm                              | 276.88              | 271.94   | 4.94                | 1.78                |
| 0.6%/3 cm                              | 256.56              | 251.83   | 4.73                | 1.84                |
| 0.9%/3 cm                              | 248.32              | 244.21   | 4.11                | 1.66                |
| 0.9%/3 cm                              | 248.33              | 244.11   | 4.22                | 1.70                |
| 0.9%/3 cm                              | 265.09              | 260.74   | 4.35                | 1.64                |
| 1.2%/3 cm                              | 255.74              | 251.76   | 3.98                | 1.56                |
| 1.2%/3 cm                              | 254.16              | 250.45   | 3.71                | 1.46                |
| 1.2%/3 cm                              | 249.53              | 245.58   | 3.95                | 1.58                |
| 0%/4.5 cm                              | 266.18              | 251.9  | 14.28               | 5.36                |
| 0%/4.5 cm                              | 269.9               | 250.59   | 19.31               | 7.15                |
| 0%/4.5 cm                              | 261.79              | 245.68   | 16.11               | 6.15                |
| 0.3%/4.5 cm                            | 252.53              | 247.68   | 4.85                | 1.92                |
| 0.3%/4.5 cm                            | 257.30              | 252.62   | 4.68                | 1.82                |
| 0.3%/4.5 cm                            | 258.89              | 254.13   | 4.76                | 1.84                |
| 0.6%/4.5 cm                            | 247.48              | 243.06   | 4.42                | 1.79                |
| 0.6%/4.5 cm                            | 245.82              | 241.54   | 4.28                | 1.74                |
| 0.6%/4.5 cm                            | 253.53              | 249.23   | 4.3                 | 1.70                |
| 0.9%/4.5 cm                            | 248.99              | 244.92   | 4.07                | 1.63                |
| 0.9%/4.5 cm                            | 258.26              | 254.31   | 3.95                | 1.53                |
| 0.9%/4.5 cm                            | 252.29              | 248.21   | 4.08                | 1.62                |
| 1.2%/4.5 cm                            | 260.28              | 256.52   | 3.76                | 1.44                |
| 1.2%/4.5 cm                            | 259.74              | 255.95   | 3.79                | 1.46                |
| 1.2%/4.5 cm                            | 247.29              | 243.9  | 3.39                | 1.37                |

**Tabla 66: Durabilidad de probetas mezcladas con fibra de paja de trigo**

| Porcentaje y tamaño de fibra de paja de trigo | Pesos iniciales (g) | Pesos después de 2 días sumergido en el agua (g) | Pérdida de masa (g) | Pérdida de masa (%) |
|---|---------------------|--|---------------------|---------------------|
| 0%/1.5 cm                                     | 257.14              | 243.24   | 13.9                | 5.41                |
| 0%/1.5 cm                                     | 252.99              | 241.98   | 11.01               | 4.35                |
| 0%/1.5 cm                                     | 256.11              | 240.01   | 16.1                | 6.29                |
| 0.3%/1.5 cm                                   | 238.51              | 233.91   | 4.6                 | 1.93                |
| 0.3%/1.5 cm                                   | 243.33              | 238.71   | 4.62                | 1.90                |
| 0.3%/1.5 cm                                   | 252.83              | 248.14   | 4.69                | 1.86                |
| 0.6%/1.5 cm                                   | 245.27              | 240.98   | 4.29                | 1.75                |
| 0.6%/1.5 cm                                   | 246.60              | 242.26   | 4.34                | 1.76                |
| 0.6%/1.5 cm                                   | 251.15              | 246.53   | 4.62                | 1.84                |
| 0.9%/1.5 cm                                   | 240.66              | 236.65   | 4.01                | 1.67                |
| 0.9%/1.5 cm                                   | 229.51              | 225.81   | 3.7                 | 1.61                |
| 0.9%/1.5 cm                                   | 245.30              | 241.16   | 4.14                | 1.69                |
| 1.2%/1.5 cm                                   | 222.60              | 219.16   | 3.44                | 1.55                |
| 1.2%/1.5 cm                                   | 239.80              | 236.17   | 3.63                | 1.51                |
| 1.2%/1.5 cm                                   | 239.90              | 236.37   | 3.53                | 1.47                |
| 0%/3 cm                                       | 257.33              | 238.2  | 19.13               | 7.43                |
| 0%/3 cm                                       | 251.28              | 240.41   | 10.87               | 4.33                |
| 0%/3 cm                                       | 267.78              | 252.89   | 14.89               | 5.56                |
| 0.3%/3 cm                                     | 253.51              | 249.13   | 4.38                | 1.73                |
| 0.3%/3 cm                                     | 254.23              | 249.48   | 4.75                | 1.87                |
| 0.3%/3 cm                                     | 253.99              | 249.18   | 4.81                | 1.89                |
| 0.6%/3 cm                                     | 264.40              | 259.97   | 4.43                | 1.68                |
| 0.6%/3 cm                                     | 254.97              | 250.55   | 4.42                | 1.73                |
| 0.6%/3 cm                                     | 252.16              | 247.74   | 4.42                | 1.75                |
| 0.9%/3 cm                                     | 230.81              | 227.14   | 3.67                | 1.59                |
| 0.9%/3 cm                                     | 229.71              | 225.90   | 3.81                | 1.66                |
| 0.9%/3 cm                                     | 226.55              | 222.84   | 3.71                | 1.64                |
| 1.2%/3 cm                                     | 241.86              | 238.42   | 3.44                | 1.42                |
| 1.2%/3 cm                                     | 233.30              | 229.77   | 3.53                | 1.51                |
| 1.2%/3 cm                                     | 233.92              | 230.52   | 3.4                 | 1.45                |
| 0%/4.5 cm                                     | 264.51              | 248.53   | 15.98               | 6.04                |
| 0%/4.5 cm                                     | 264.46              | 248.54   | 15.92               | 6.02                |
| 0%/4.5 cm                                     | 260.26              | 249.84   | 10.42               | 4.00                |
| 0.3%/4.5 cm                                   | 251.70              | 247.40   | 4.3                 | 1.71                |
| 0.3%/4.5 cm                                   | 247.15              | 242.84   | 4.31                | 1.74                |
| 0.3%/4.5 cm                                   | 251.11              | 246.88   | 4.23                | 1.68                |
| 0.6%/4.5 cm                                   | 228.63              | 224.93   | 3.7                 | 1.62                |
| 0.6%/4.5 cm                                   | 233.91              | 230.02   | 3.89                | 1.66                |
| 0.6%/4.5 cm                                   | 238.87              | 235.10   | 3.77                | 1.58                |
| 0.9%/4.5 cm                                   | 233.30              | 229.91   | 3.39                | 1.45                |
| 0.9%/4.5 cm                                   | 244.30              | 240.56   | 3.74                | 1.53                |
| 0.9%/4.5 cm                                   | 248.95              | 245.36   | 3.59                | 1.44                |
| 1.2%/4.5 cm                                   | 242.83              | 239.54   | 3.29                | 1.35                |
| 1.2%/4.5 cm                                   | 239.10              | 235.71   | 3.39                | 1.42                |
| 1.2%/4.5 cm                                   | 225.27              | 222.26   | 3.01                | 1.34                |

## Anexo N° 5: Análisis económico

Cálculo para el volumen de un adobe estabilizado - reforzado

Molde cubico de 50 mm x 50 mm x 50 mm = 0.000125 m<sup>3</sup> = 294 g

Tabla 67: Cantidad por una probeta de 50 x 50 x 50 mm

|                               |      | Probeta (50 x 50 x 50 mm) |
|-------------------------------|------|---------------------------|
|                               |      | Peso (g)                  |
| Suelos finos (limo - arcilla) |      | 70                        |
| Arena gruesa                  |      | 210                       |
| Cal (5%)                      |      | 14                        |
| Agua (18%)                    |      | 50.4                      |
| Fibra Natural (%)             | 0.30 | 0.84                      |
|                               | 0.60 | 1.68                      |
|                               | 0.90 | 2.52                      |
|                               | 1.20 | 3.36                      |

Molde rectangular de un adobe comercial

230 mm x 120 mm x 90 mm = 0.002484 m<sup>3</sup> = 5842 g

|            |                         |
|------------|-------------------------|
| 294 g      | 0.000125 m <sup>3</sup> |
| x          | 0.002484 m <sup>3</sup> |
| x = 5842 g |                         |

Calculo por material

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| Suelos finos (arcilla – limo) |        |
| 70 g                          | 294 g  |
| x                             | 5842 g |
| x = 1390.95 g                 |        |

|               |        |
|---------------|--------|
| Arena gruesa  |        |
| 210 g         | 294 g  |
| x             | 5842 g |
| x = 4172.86 g |        |

|              |        |
|--------------|--------|
| cal          |        |
| 14 g         | 294 g  |
| x            | 5842 g |
| x = 278.19 g |        |

La cantidad de material para un adobe en m<sup>3</sup> (10% de desperdicio)

$$\text{Suelo fino} = \frac{1.39 \text{ kg} \times 1.1}{2.7 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Suelo fino} = 0.0006 \text{ m}^3$$

$$\text{Arena gruesa} = \frac{4.2 \text{ kg} \times 1.1}{2.66 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Arena gruesa} = 0.0017 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{1 \text{ kg} \times 1.1}{1 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\text{Agua} = 0.0011 \text{ m}^3$$

Tabla 68: Volumen y peso para el material de un molde de 23 x 12 x 9 cm

|                        |      | Peso (g) | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|------------------------|------|----------|-------------------------------|---------------------------|
| Suelo (limo - arcilla) |      | 1390.95  | 2.73                          | 0.0006                    |
| Arena gruesa           |      | 4172.86  | 2.66                          | 0.0017                    |
| Cal (5%)               |      | 278.2    | 2.5                           | -                         |
| Agua (18%)             |      | 1001.5   | 1.0                           | 0.0011                    |
| Fibra Natural (%)      | 0.30 | 16.7     | -                             | -                         |
|                        | 0.60 | 33.4     | -                             | -                         |
|                        | 0.90 | 50.1     | -                             | -                         |
|                        | 1.20 | 66.8     | -                             | -                         |

La cantidad de material para un muro de adobe de 1m x 1 m x 0.12 m con una junta de 1.5 cm)

Tabla 69: Volumen y peso para el material de un muro de 1 m<sup>2</sup>

|                               | Peso (g)  | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------|
| Suelos finos (limo - arcilla) | 54070.06  | 2.73                          | 0.0220                    |
| Arena gruesa                  | 162210.19 | 2.66                          | 0.0671                    |
| Cal (5%)                      | 10814.0   | 2.5                           | -                         |
| Agua (18%)                    | 38930.4   | 1.0                           | 0.0428                    |
| Fibra Natural (%)             | 0.30      | 648.8                         | -                         |
|                               | 0.60      | 1297.7                        | -                         |
|                               | 0.90      | 1946.5                        | -                         |
|                               | 1.20      | 2595.4                        | -                         |

## Anexo N° 6: Procedimiento estadístico de datos

Prueba de Fisher

### PROBLEMA

¿De qué manera influye el tamaño, porcentaje y tipo de fibra natural en adobes estabilizados sobre la resistencia a compresión, contracción y durabilidad en construcciones rurales en la ciudad de Trujillo, 2019?

### HIPÓTESIS

H<sub>1</sub>: EL incremento del tamaño y porcentaje de fibra natural, según su tipo, aumenta su resistencia a compresión, contracción y durabilidad en adobes estabilizados para construcciones rurales en la ciudad de Trujillo, 2019.

H<sub>0</sub>: A mayor tamaño y porcentaje de fibra natural, según su tipo, disminuye su resistencia a compresión, contracción y durabilidad en adobes estabilizados para construcciones rurales en la ciudad de Trujillo, 2019.

### DATOS PREVIOS:

Hipótesis Alterna: H<sub>1</sub>

Hipótesis Nula: H<sub>0</sub>

## Grados de libertad (G.L)

G.L de las variables independientes

Tamaños de fibra (A)

$$G.L = a - 1$$

$$G.L = 3 - 1$$

$$G.L = 2$$

Tipo de fibra (C)

$$G.L = c - 1$$

$$G.L = 2 - 1$$

$$G.L = 1$$

G.L de las variables conjugadas (B x C)

$$G.L = (b - 1) \times (c - 1)$$

$$G.L = (5 - 1) \times (2 - 1)$$

$$G.L = 4$$

Porcentaje de fibra (B)

$$G.L = b - 1$$

$$G.L = 5 - 1$$

$$G.L = 4$$

G.L de las variables conjugadas (A x C)

$$G.L = (a - 1) \times (c - 1)$$

$$G.L = (3 - 1) \times (2 - 1)$$

$$G.L = 2$$

G.L de las variables conjugadas (A x B)

$$G.L = (a - 1) \times (b - 1)$$

$$G.L = (3 - 1) \times (5 - 1)$$

$$G.L = 8$$

G.L de las variables conjugadas (A x B x C)

$$G.L = (a - 1) \times (b - 1) \times (c - 1)$$

$$G.L = (3 - 1) \times (5 - 1) \times (2 - 1)$$

$$G.L = 8$$

G.L del error

$$G.L = a \times b \times c (n - 1)$$

$$G.L = 3 \times 5 \times 2 (3 - 1)$$

$$G.L = 60$$

Nivel de significancia: En ingeniería se trabaja con un 95% de confianza ( $\alpha=0.05$ )

Criterio de rechazo : Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) Si  $F_0 > F_{\alpha; v_1, v_2}$  :

$F_0$  : Distribución de Fisher, se obtiene experimentalmente

$F_{\alpha; v_1, v_2}$  : Distribución de los grados de libertad, se obtienen de la tabla 70

Asimismo,  $v_1 = a-1$ ,  $v_2 = a(n-1)$ , donde “a, b y c” es el número de niveles y “n” el número de réplicas

Tabla 70: Puntos porcentuales de la distribución  $F_{0.05,v_1,v_2}$

| $V_2 \backslash V_1$ | Grados de libertad del numerador ( $V_1$ ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 12    | 15    | 20    | 24    | 30    | 40    | 60    | 120   | inf.  |
| 2                    | 161.4                                      | 191.5 | 215.7 | 224.6 | 230.2 | 234.0 | 236.8 | 238.9 | 240.5 | 241.9 | 243.9 | 245.9 | 248.0 | 249.1 | 250.1 | 251.1 | 252.2 | 253.3 | 254.3 |
| 3                    | 18.51                                      | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.35 | 19.37 | 19.38 | 19.40 | 19.41 | 19.43 | 19.45 | 19.45 | 19.46 | 19.47 | 19.48 | 19.49 | 19.50 |
| 4                    | 10.73                                      | 9.55  | 9.28  | 9.12  | 9.01  | 8.94  | 8.89  | 8.85  | 8.81  | 8.79  | 8.74  | 8.70  | 8.66  | 8.64  | 8.62  | 8.59  | 8.57  | 8.55  | 8.53  |
| 5                    | 7.71                                       | 6.94  | 6.59  | 6.39  | 6.26  | 6.16  | 6.09  | 6.04  | 6.00  | 5.96  | 5.91  | 5.86  | 5.80  | 5.77  | 5.75  | 5.72  | 5.69  | 5.66  | 5.63  |
| 6                    | 6.61                                       | 5.79  | 5.41  | 5.19  | 5.05  | 4.95  | 4.88  | 4.82  | 4.77  | 4.74  | 4.68  | 4.62  | 4.56  | 4.53  | 4.50  | 4.46  | 4.43  | 4.40  | 4.36  |
| 7                    | 5.99                                       | 5.14  | 4.76  | 4.53  | 4.39  | 4.28  | 4.21  | 4.15  | 4.10  | 4.06  | 4.00  | 3.94  | 3.87  | 3.84  | 3.81  | 3.77  | 3.74  | 3.70  | 3.67  |
| 8                    | 5.39                                       | 4.74  | 4.35  | 4.12  | 3.97  | 3.87  | 3.79  | 3.73  | 3.68  | 3.64  | 3.57  | 3.51  | 3.44  | 3.41  | 3.38  | 3.34  | 3.30  | 3.27  | 3.23  |
| 9                    | 5.2  | 4.46  | 4.07  | 3.84  | 3.69  | 3.58  | 3.50  | 3.44  | 3.39  | 3.35  | 3.28  | 3.22  | 3.15  | 3.12  | 3.08  | 3.04  | 3.01  | 2.97  | 2.93  |
| 10                   | 5.2  | 4.26  | 3.86  | 3.63  | 3.48  | 3.37  | 3.29  | 3.23  | 3.18  | 3.14  | 3.07  | 3.01  | 2.94  | 2.90  | 2.86  | 2.83  | 2.79  | 2.75  | 2.71  |
| 11                   | 4.96                                       | 4.10  | 3.71  | 3.48  | 3.33  | 3.22  | 3.14  | 3.07  | 3.02  | 2.98  | 2.91  | 2.85  | 2.77  | 2.74  | 2.70  | 2.66  | 2.62  | 2.58  | 2.54  |
| 12                   | 4.44                                       | 3.98  | 3.59  | 3.36  | 3.20  | 3.09  | 3.01  | 2.95  | 2.90  | 2.85  | 2.79  | 2.72  | 2.65  | 2.61  | 2.57  | 2.52  | 2.49  | 2.45  | 2.40  |
| 13                   | 4.75                                       | 3.89  | 3.49  | 3.26  | 3.11  | 3.00  | 2.91  | 2.85  | 2.80  | 2.75  | 2.69  | 2.62  | 2.54  | 2.51  | 2.47  | 2.43  | 2.38  | 2.34  | 2.30  |
| 14                   | 4.57                                       | 3.81  | 3.41  | 3.18  | 3.03  | 2.92  | 2.83  | 2.77  | 2.71  | 2.67  | 2.60  | 2.53  | 2.46  | 2.42  | 2.38  | 2.34  | 2.30  | 2.25  | 2.21  |
| 15                   | 4.40                                       | 3.74  | 3.34  | 3.11  | 2.96  | 2.85  | 2.76  | 2.70  | 2.65  | 2.60  | 2.53  | 2.46  | 2.39  | 2.35  | 2.31  | 2.27  | 2.22  | 2.18  | 2.13  |
| 16                   | 4.44                                       | 3.68  | 3.29  | 3.06  | 2.90  | 2.79  | 2.71  | 2.64  | 2.59  | 2.54  | 2.48  | 2.40  | 2.33  | 2.29  | 2.25  | 2.20  | 2.16  | 2.11  | 2.07  |
| 17                   | 4.49                                       | 3.63  | 3.24  | 3.01  | 2.85  | 2.74  | 2.66  | 2.59  | 2.54  | 2.49  | 2.42  | 2.35  | 2.28  | 2.24  | 2.19  | 2.15  | 2.11  | 2.06  | 2.01  |
| 18                   | 4.45                                       | 3.59  | 3.20  | 2.96  | 2.81  | 2.70  | 2.61  | 2.55  | 2.49  | 2.45  | 2.38  | 2.31  | 2.23  | 2.19  | 2.15  | 2.10  | 2.06  | 2.01  | 1.96  |
| 19                   | 4.41                                       | 3.55  | 3.16  | 2.93  | 2.77  | 2.66  | 2.58  | 2.51  | 2.46  | 2.41  | 2.34  | 2.27  | 2.19  | 2.15  | 2.11  | 2.06  | 2.02  | 1.97  | 1.92  |
| 20                   | 4.48                                       | 3.52  | 3.13  | 2.90  | 2.74  | 2.63  | 2.54  | 2.48  | 2.42  | 2.38  | 2.31  | 2.23  | 2.16  | 2.11  | 2.07  | 2.03  | 1.98  | 1.93  | 1.88  |
| 21                   | 4.45                                       | 3.49  | 3.10  | 2.87  | 2.71  | 2.60  | 2.51  | 2.45  | 2.39  | 2.35  | 2.28  | 2.20  | 2.12  | 2.08  | 2.04  | 1.99  | 1.95  | 1.90  | 1.84  |
| 22                   | 4.42                                       | 3.47  | 3.07  | 2.84  | 2.68  | 2.57  | 2.49  | 2.42  | 2.37  | 2.32  | 2.25  | 2.18  | 2.10  | 2.05  | 2.01  | 1.96  | 1.92  | 1.87  | 1.81  |
| 23                   | 4.40                                       | 3.44  | 3.05  | 2.82  | 2.66  | 2.55  | 2.46  | 2.40  | 2.34  | 2.30  | 2.23  | 2.15  | 2.07  | 2.03  | 1.98  | 1.94  | 1.89  | 1.84  | 1.78  |
| 24                   | 4.48                                       | 3.42  | 3.03  | 2.80  | 2.64  | 2.53  | 2.44  | 2.37  | 2.32  | 2.27  | 2.20  | 2.13  | 2.05  | 2.01  | 1.96  | 1.91  | 1.86  | 1.81  | 1.76  |
| 25                   | 4.46                                       | 3.40  | 3.01  | 2.78  | 2.62  | 2.51  | 2.42  | 2.36  | 2.30  | 2.25  | 2.18  | 2.11  | 2.03  | 1.98  | 1.94  | 1.89  | 1.84  | 1.79  | 1.73  |
| 26                   | 4.44                                       | 3.39  | 2.99  | 2.76  | 2.60  | 2.49  | 2.40  | 2.34  | 2.28  | 2.24  | 2.16  | 2.09  | 2.01  | 1.96  | 1.92  | 1.87  | 1.82  | 1.77  | 1.71  |
| 27                   | 4.43                                       | 3.37  | 2.98  | 2.74  | 2.59  | 2.47  | 2.39  | 2.32  | 2.27  | 2.22  | 2.15  | 2.07  | 1.99  | 1.95  | 1.90  | 1.85  | 1.80  | 1.75  | 1.69  |
| 28                   | 4.41                                       | 3.35  | 2.96  | 2.73  | 2.57  | 2.46  | 2.37  | 2.31  | 2.25  | 2.20  | 2.13  | 2.06  | 1.97  | 1.93  | 1.88  | 1.84  | 1.79  | 1.73  | 1.67  |
| 29                   | 4.40                                       | 3.34  | 2.95  | 2.71  | 2.56  | 2.45  | 2.36  | 2.29  | 2.24  | 2.19  | 2.12  | 2.04  | 1.96  | 1.91  | 1.87  | 1.82  | 1.77  | 1.71  | 1.65  |
| 30                   | 4.48                                       | 3.33  | 2.93  | 2.70  | 2.55  | 2.43  | 2.35  | 2.28  | 2.22  | 2.18  | 2.10  | 2.03  | 1.94  | 1.90  | 1.85  | 1.81  | 1.75  | 1.70  | 1.64  |
| 40                   | 4.7  | 3.32  | 2.92  | 2.69  | 2.53  | 2.42  | 2.33  | 2.27  | 2.21  | 2.16  | 2.09  | 2.01  | 1.93  | 1.89  | 1.84  | 1.79  | 1.74  | 1.68  | 1.62  |
| 60                   | 4.08                                       | 3.23  | 2.84  | 2.61  | 2.45  | 2.34  | 2.25  | 2.18  | 2.12  | 2.08  | 2.00  | 1.92  | 1.84  | 1.79  | 1.74  | 1.69  | 1.64  | 1.58  | 1.51  |
| 120                  | 4.00                                       | 3.15  | 2.76  | 2.53  | 2.37  | 2.25  | 2.17  | 2.10  | 2.04  | 1.99  | 1.92  | 1.84  | 1.75  | 1.70  | 1.65  | 1.59  | 1.53  | 1.47  | 1.39  |
| Inf.                 | 3.92                                       | 3.07  | 2.68  | 2.45  | 2.29  | 2.17  | 2.09  | 2.02  | 1.96  | 1.91  | 1.83  | 1.75  | 1.66  | 1.61  | 1.55  | 1.55  | 1.43  | 1.35  | 1.25  |
| Inf.                 | 3.84                                       | 3.00  | 2.60  | 2.37  | 2.21  | 2.10  | 2.01  | 1.94  | 1.88  | 1.85  | 1.75  | 1.67  | 1.57  | 1.52  | 1.46  | 1.39  | 1.32  | 1.22  | 1.00  |

### Cálculo del F teórico:

Grados de Libertad de A = 2

Grados de Libertad de B = 4

Grados de Libertad de C = 1

Grados de Libertad de A x B = 8

Grados de Libertad de A x C = 2

Grados de Libertad de B x C = 4

Grados de Libertad de A x B x C = 8

Grados de Libertad del Error = 60

| F <sub>Teórico</sub> | Valor |
|----------------------|-------|
| A                    | 3.15  |
| B                    | 2.53  |
| C                    | 4.00  |
| A x B                | 2.10  |
| A x C                | 3.15  |
| B x C                | 2.53  |
| A x B x C            | 2.10  |

### Cálculo de la F experimental par los valores de resistencia a compresión

Tabla 71: Estimación de Y para los datos de compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

|                    |               | A: Tamaños de fibras (mm)   |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------|---------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    |               | 15                          |       |       |       |       | 30   |       |       |       |       | 45    |       |       |       |       |
|                    |               | B: Porcentaje de fibras (%) |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                    |               | 0                           | 0.3   | 0.6   | 0.9   | 1.2   | 0    | 0.3   | 0.6   | 0.9   | 1.2   | 0     | 0.3   | 0.6   | 0.9   | 1.2   |
| C: Tipos de fibras | Cabuya        | 8.25                        | 13.52 | 22.65 | 26.76 | 29.13 | 8.05 | 15.98 | 29.58 | 34.70 | 36.20 | 8.78  | 22.66 | 31.73 | 35.73 | 35.70 |
|                    |               | 9.57                        | 12.55 | 20.49 | 26.17 | 29.51 | 8.17 | 17.46 | 29.88 | 33.63 | 34.50 | 10.45 | 21.26 | 30.78 | 34.52 | 34.90 |
|                    |               | 7.75                        | 13.25 | 21.39 | 26.33 | 29.91 | 7.51 | 16.49 | 29.53 | 34.22 | 36.10 | 8.66  | 21.96 | 32.28 | 33.56 | 36.86 |
|                    | Paja de Trigo | 8.43                        | 5.20  | 7.44  | 18.33 | 23.17 | 7.35 | 9.43  | 10.81 | 25.87 | 16.40 | 7.64  | 9.21  | 10.93 | 18.21 | 14.77 |
|                    |               | 8.61                        | 5.64  | 7.58  | 18.02 | 22.20 | 8.18 | 9.98  | 10.95 | 23.76 | 16.86 | 8.47  | 8.97  | 11.01 | 17.48 | 14.88 |
|                    |               | 8.09                        | 5.17  | 7.41  | 18.08 | 23.24 | 8.95 | 9.56  | 9.93  | 25.57 | 16.30 | 9.29  | 8.92  | 11.73 | 16.37 | 13.99 |

Tabla 72: Estimación de Y<sub>k</sub>, Y<sub>j</sub> y Y<sub>i</sub> para los datos de compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

| A x B x C          |               | A: Tamaños de fibras (mm)   |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |        |        | C              |
|--------------------|---------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|----------------|
|                    |               | 15                          |       |       |       |       | 30    |       |       |        |        | 45    |       |       |        |        |                |
|                    |               | B: Porcentaje de fibras (%) |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |        |        |                |
|                    |               | 0                           | 0.3   | 0.6   | 0.9   | 1.2   | 0     | 0.3   | 0.6   | 0.9    | 1.2    | 0     | 0.3   | 0.6   | 0.9    | 1.2    |                |
| C: Tipos de fibras | Cabuya        | 25.56                       | 39.31 | 64.53 | 79.26 | 88.56 | 23.73 | 49.93 | 88.98 | 102.55 | 106.80 | 27.89 | 65.89 | 94.79 | 103.80 | 107.45 | <b>1069.05</b> |
|                    | Paja de trigo | 25.13                       | 16.02 | 22.42 | 54.43 | 68.62 | 24.47 | 28.97 | 31.68 | 75.20  | 49.56  | 25.40 | 27.10 | 33.67 | 52.06  | 43.65  | <b>578.36</b>  |
|                    |               |                             |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |        |        | <b>1647.41</b> |

Tabla 73: Estimación de  $Y_i$  y  $Y_k$  para los datos de compresión ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

| A x C    | 15            | 30            | 45            |
|----------|---------------|---------------|---------------|
| Cabuya   | 297.22        | 372.00        | 399.82        |
| Trigo    | 186.61        | 209.88        | 181.87        |
| <b>A</b> | <b>483.84</b> | <b>581.89</b> | <b>581.69</b> |

Tabla 74: Estimación de  $Y_j$  y  $Y_k$  para los datos de compresión ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

| B x C    | 0             | 0.3           | 0.6           | 0.9           | 1.2           |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Cabuya   | 77.19         | 155.13        | 248.30        | 285.62        | 302.81        |
| Trigo    | 75.00         | 72.09         | 87.77         | 181.68        | 161.82        |
| <b>B</b> | <b>152.19</b> | <b>227.22</b> | <b>336.07</b> | <b>467.30</b> | <b>464.63</b> |

Tabla 75: Estimación de  $Y_i$  y  $Y_j$  para los datos de compresión ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

| A x B | 1.5    | 3      | 4.5    |
|-------|--------|--------|--------|
| 0.00  | 50.69  | 48.21  | 53.29  |
| 0.30  | 55.33  | 78.90  | 92.99  |
| 0.60  | 86.95  | 120.66 | 128.46 |
| 0.90  | 133.69 | 177.75 | 155.86 |
| 1.20  | 157.17 | 156.36 | 151.10 |

## Suma de cuadrados

Factor A

$$SS_A = \frac{\sum_i Y_i^2}{bxcxn} - \frac{Y_T^2}{axbxcxn}$$

$$SS_A = \frac{483.84^2 + 581.89^2 + 581.69^2}{5 \times 2 \times 3} - \frac{1647.41^2}{3 \times 5 \times 2 \times 3} = 213.21$$

Factor B

$$SS_B = \frac{\sum_j Y_j^2}{axcxn} - \frac{Y_T^2}{axbxcxn}$$

$$SS_B = \frac{152.19^2 + 227.22^2 + 336.07^2 + 467.30^2 + 464.63^2}{3 \times 2 \times 3} - \frac{1647.41^2}{3 \times 5 \times 2 \times 3} = 4399.58$$

Factor C

$$SS_C = \frac{\sum_k Y_k^2}{a \times b \times n} - \frac{Y_T^2}{a \times b \times c \times n}$$

$$SS_C = \frac{1069.05^2 + 578.36^2}{3 \times 5 \times 3} - \frac{1647.41^2}{3 \times 5 \times 2 \times 3} = 2675.21$$

Interacción de factores (A x B)

$$SS_{AB} = \frac{\sum_{ij} Y_{ij}^2}{c \times n} - \frac{Y^2}{a \times b \times c \times n} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AB} = \frac{50.69^2 + \dots + 151.10^2}{2 \times 3} - \frac{1647.41^2}{3 \times 5 \times 2 \times 3} - 213.21 - 4399.58 = 237.27$$

Interacción de factores (A x C)

$$SS_{AC} = \frac{\sum_{ik} Y_{ik}^2}{b \times n} - \frac{Y^2}{a \times b \times c \times n} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{AC} = \frac{297.22^2 + \dots + 181.87^2}{5 \times 3} - \frac{1647.41^2}{3 \times 5 \times 2 \times 3} - 213.21 - 2675.21 = 192.12$$

Interacción de factores (B x C)

$$SS_{BC} = \frac{\sum Y_{jk}^2}{an} - \frac{Y^2}{abcn} - SS_B - SS_C$$

$$SS_{BC} = \frac{77.19^2 + \dots + 161.82^2}{3 \times 3} - \frac{1647.41^2}{3 \times 5 \times 2 \times 3} - 4399.58 - 2675.21 = 844.31$$

Interacción de factores (A x B x C)

$$SS_{ABC} = \frac{\sum Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

$$SS_{BC} = \frac{25.56^2 + \dots + 43.65^2}{3} - \frac{1647.41^2}{3 \times 5 \times 2 \times 3} - 213.21 - \dots - 844.31 = 134.01$$

Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum Y_{ijkl}^2 - \frac{Y^2}{abcn}$$

$$SS_T = (8.25^2 + 13.52^2 + \dots + 16.37^2 + 13.99^2) - \frac{1647.41^2}{3 \times 5 \times 2 \times 3} = 8723.01$$

Calculo para el error

$$SS_{ERROR} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} - SS_{ABC}$$

$$SS_{ERROR} = 8723.01 - 213.21 - 4399.58 - 2675.21 - 237.27 - 192.12 - 844.31 - 134.01$$

$$SS_T = 27.29$$

## Media de cuadrados

Factor A

$$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$$

$$MS_A = \frac{213.21}{3-1} = 106.61$$

Factor B

$$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$$

$$MS_B = \frac{4399.58}{5-1} = 1099.90$$

Factor C

$$MS_C = \frac{SS_C}{c-1}$$

$$MS_C = \frac{2675.21}{2-1} = 2675.21$$

Interacción de factores A x B

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a-1) \times (b-1)}$$

$$MS_{AxB} = \frac{237.27}{(3-1) \times (5-1)} = 29.66$$

Interacción de factores A x C

$$MS_{AxC} = \frac{SS_{AxC}}{(a-1) \times (c-1)}$$

$$MS_{AxC} = \frac{192.12}{(3-1) \times (2-1)} = 96.06$$

Interacción de factores B x C

$$MS_{BxC} = \frac{SS_{BxC}}{(b-1) \times (c-1)}$$

$$MS_{BxC} = \frac{134.01}{(5-1) \times (2-1)} = 211.08$$

Interacción de factores A x B x C

$$MS_{AxBxC} = \frac{SS_{AxBxC}}{(a-1)x(b-1)x(c-1)}$$

$$MS_{AxBxC} = \frac{134.01}{(3-1)x(5-1)x(2-1)} = 16.75$$

Cálculo para el error

$$MS_E = \frac{SS_{ERROR}}{(abc)x(n-1)}$$

$$MS_E = \frac{27.29}{(3x5x2)x(3-1)} = 0.45$$

**F<sub>0</sub> experimental**

F<sub>0</sub>(A)

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0(A) = \frac{106.61}{0.45} = 234.34$$

F<sub>0</sub>(B)

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_0(B) = \frac{1099.90}{0.45} = 2417.81$$

F<sub>0</sub>(C)

$$F_0(C) = \frac{MS_C}{MS_E}$$

$$F_0(C) = \frac{2675.21}{0.45} = 5880.68$$

F<sub>0</sub>(A x B)

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E}$$

$$F_0(AxB) = \frac{29.66}{0.45} = 65.20$$

$F_0(A \times C)$

$$F_0(A \times C) = \frac{MS_{A \times C}}{MS_E}$$

$$F_0(A \times C) = \frac{96.06}{0.45} = 211.16$$

$F_0(B \times C)$

$$F_0(B \times C) = \frac{MS_{B \times C}}{MS_E}$$

$$F_0(B \times C) = \frac{211.08}{0.45} = 464.00$$

$F_0(A \times B \times C)$

$$F_0(A \times B \times C) = \frac{MS_{A \times B \times C}}{MS_E}$$

$$F_0(A \times B \times C) = \frac{16.75}{0.45} = 36.82$$

Tabla 76: Resumen del análisis ANAVA para la resistencia a la compresión

| Fuente de variación | Grado de libertad | Suma de cuadrados | Media de cuadrados | $F_{\text{Experimental}}$ | $F_{\text{Teórico}}$ |
|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|
| A                   | 2                 | 213.21            | 106.61             | 234.34                    | 3.15                 |
| B                   | 4                 | 4399.58           | 1099.90            | 2417.81                   | 2.53                 |
| C                   | 1                 | 844.31            | 2675.21            | 5880.68                   | 4.00                 |
| A x B               | 8                 | 237.27            | 29.66              | 65.20                     | 2.10                 |
| A x C               | 2                 | 192.12            | 96.06              | 211.16                    | 3.15                 |
| B x C               | 4                 | 844.31            | 211.08             | 464.00                    | 2.53                 |
| A x B x C           | 8                 | 134.01            | 16.75              | 36.82                     | 2.10                 |
| Error               | 60                | 27.29             | 0.45               | -                         | -                    |

Como el  $F_{\text{EXPERIMENTAL}} > F_{\text{TEÓRICO}}$

Se acepta:  $H_1$

Cálculo de la F experimental para los valores de contracción

Tabla 77: Estimación de Y para los datos de contratación (%)

|                    |               | A: Tamaños de fibras (mm)   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|---------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    |               | 15                          |      |      |      |      | 30   |      |      |      |      | 45   |      |      |      |      |
|                    |               | B: Porcentaje de fibras (%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                    |               | 0                           | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  | 0    | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  | 0    | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  |
| C: Tipos de fibras | Cabuya        | 7.99                        | 5.93 | 5.21 | 4.84 | 3.77 | 8.13 | 4.80 | 4.08 | 3.66 | 2.62 | 7.73 | 4.08 | 3.14 | 3.36 | 1.59 |
|                    |               | 7.77                        | 5.31 | 4.79 | 3.69 | 3.11 | 8.28 | 4.68 | 3.94 | 2.88 | 2.60 | 8.95 | 3.76 | 2.99 | 2.68 | 2.40 |
|                    |               | 8.95                        | 6.03 | 4.91 | 4.03 | 2.98 | 7.05 | 3.85 | 3.97 | 3.12 | 2.81 | 7.69 | 3.64 | 3.01 | 2.92 | 1.47 |
|                    | Paja de Trigo | 7.42                        | 5.42 | 4.64 | 4.05 | 3.25 | 8.32 | 4.36 | 3.91 | 3.31 | 2.79 | 8.18 | 3.68 | 2.89 | 2.29 | 1.22 |
|                    |               | 9.29                        | 4.85 | 4.54 | 3.88 | 3.35 | 6.89 | 4.38 | 3.63 | 2.95 | 2.23 | 8.34 | 3.56 | 2.87 | 2.07 | 1.24 |
|                    |               | 8.67                        | 5.66 | 4.18 | 3.81 | 2.90 | 8.27 | 4.35 | 3.63 | 3.01 | 2.28 | 8.17 | 3.42 | 2.98 | 1.90 | 1.22 |

Tabla 78: Estimación de Yk, Yj y Yi para los datos de contracción (%)

| A x B x C          |               | A: Tamaños de fibras (mm)   |       |       |       |      |       |       |       |      |      |       |       |      |      |      | C             |
|--------------------|---------------|-----------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|---------------|
|                    |               | 15                          |       |       |       |      | 30    |       |       |      |      | 45    |       |      |      |      |               |
|                    |               | B: Porcentaje de fibras (%) |       |       |       |      |       |       |       |      |      |       |       |      |      |      |               |
|                    |               | 0                           | 0.3   | 0.6   | 0.9   | 1.2  | 0     | 0.3   | 0.6   | 0.9  | 1.2  | 0     | 0.3   | 0.6  | 0.9  | 1.2  |               |
| C: Tipos de fibras | Cabuya        | 24.71                       | 17.27 | 14.91 | 12.56 | 9.86 | 23.46 | 13.32 | 11.99 | 9.66 | 8.03 | 24.37 | 11.48 | 9.14 | 8.96 | 5.46 | <b>205.19</b> |
|                    | Paja de trigo | 25.39                       | 15.92 | 13.36 | 11.73 | 9.50 | 23.47 | 13.09 | 11.17 | 9.26 | 7.30 | 24.70 | 10.66 | 8.74 | 6.25 | 3.67 | <b>194.21</b> |
|                    |               |                             |       |       |       |      |       |       |       |      |      |       |       |      |      |      | <b>399.40</b> |

Tabla 79: Estimación de Yi y Yk para los datos de contracción (%)

| A x C         | 1.5           | 3             | 4.5           |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Cabuya</b> | 79.31         | 66.47         | 59.41         |
| <b>Trigo</b>  | 75.90         | 64.29         | 54.03         |
| <b>A</b>      | <b>155.20</b> | <b>130.76</b> | <b>113.44</b> |

Tabla 80: Estimación de Yj y Yk para los datos de contracción (%)

| B x C         | 0             | 0.3          | 0.6          | 0.9          | 1.2          |
|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Cabuya</b> | 72.54         | 42.07        | 36.04        | 31.18        | 23.35        |
| <b>Trigo</b>  | 73.55         | 39.68        | 33.26        | 27.25        | 20.47        |
| <b>B</b>      | <b>146.10</b> | <b>81.75</b> | <b>69.30</b> | <b>58.43</b> | <b>43.83</b> |

Tabla 81: Estimación de Yi y Yj para los datos de contracción (%)

| A x B       | 1.5   | 3     | 4.5   |
|-------------|-------|-------|-------|
| <b>0.00</b> | 50.10 | 46.93 | 49.07 |
| <b>0.30</b> | 33.19 | 26.41 | 22.14 |
| <b>0.60</b> | 28.26 | 23.16 | 17.87 |
| <b>0.90</b> | 24.29 | 18.92 | 15.21 |
| <b>1.20</b> | 19.36 | 15.33 | 9.14  |

Tabla 82: Resumen del análisis ANAVA para la contracción

| Fuente de variación | Grado de libertad | Suma de cuadrados | Media de cuadrados | F <sub>Experimental</sub> | F <sub>Teórico</sub> |
|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|
| A                   | 2                 | 29.36             | 14.68              | 86.93                     | 3.15                 |
| B                   | 4                 | 347.78            | 86.94              | 514.91                    | 2.53                 |
| C                   | 1                 | 0.79              | 1.34               | 7.92                      | 4.00                 |
| A x B               | 8                 | 6.64              | 0.83               | 4.92                      | 2.10                 |
| A x C               | 2                 | 0.18              | 0.09               | 0.52                      | 3.15                 |
| B x C               | 4                 | 0.79              | 0.20               | 1.16                      | 2.53                 |
| A x B x C           | 8                 | 0.76              | 0.10               | 0.56                      | 2.10                 |
| Error               | 60                | 10.13             | 0.17               | -                         | -                    |

Como el  $F_{EXPERIMENTAL} < F_{TEÓRICO}$

No se acepta:  $H_1$

Cálculo de la F experimental para los valores de durabilidad

Tabla 83: Estimación de Y para los datos de durabilidad (%)

|                    |               | A: Tamaños de fibras (mm)   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|---------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    |               | 15                          |      |      |      |      | 30   |      |      |      |      | 45   |      |      |      |      |
|                    |               | B: Porcentaje de fibras (%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                    |               | 0                           | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  | 0    | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  | 0    | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  |
| C: Tipos de fibras | Cabuya        | 5.50                        | 2.22 | 1.91 | 1.82 | 1.56 | 4.43 | 1.94 | 1.81 | 1.66 | 1.56 | 5.36 | 1.92 | 1.79 | 1.63 | 1.44 |
|                    |               | 5.57                        | 2.09 | 1.94 | 1.79 | 1.61 | 4.73 | 1.94 | 1.78 | 1.70 | 1.46 | 7.15 | 1.82 | 1.74 | 1.53 | 1.46 |
|                    |               | 5.41                        | 2.14 | 1.98 | 1.73 | 1.65 | 6.01 | 2.00 | 1.84 | 1.64 | 1.58 | 6.15 | 1.84 | 1.70 | 1.62 | 1.37 |
|                    | Paja de Trigo | 5.41                        | 1.93 | 1.75 | 1.67 | 1.55 | 7.43 | 1.73 | 1.68 | 1.59 | 1.42 | 6.04 | 1.71 | 1.62 | 1.45 | 1.35 |
|                    |               | 4.35                        | 1.90 | 1.76 | 1.61 | 1.51 | 4.33 | 1.87 | 1.73 | 1.66 | 1.51 | 6.02 | 1.74 | 1.66 | 1.53 | 1.42 |
|                    |               | 6.29                        | 1.86 | 1.84 | 1.69 | 1.47 | 5.56 | 1.89 | 1.75 | 1.64 | 1.45 | 4.00 | 1.68 | 1.58 | 1.44 | 1.34 |

Tabla 84: Estimación de  $Y_k$ ,  $Y_j$  y  $Y_i$  para los datos de durabilidad (%)

| A x B x C          |               | A: Tamaños de fibras (mm)   |      |      |      |      |       |      |      |      |      |       |      |      |      |      | C             |
|--------------------|---------------|-----------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|---------------|
|                    |               | 15                          |      |      |      |      | 30    |      |      |      |      | 45    |      |      |      |      |               |
|                    |               | B: Porcentaje de fibras (%) |      |      |      |      |       |      |      |      |      |       |      |      |      |      |               |
|                    |               | 0                           | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  | 0     | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  | 0     | 0.3  | 0.6  | 0.9  | 1.2  |               |
| C: Tipos de fibras | Cabuya        | 16.49                       | 6.45 | 5.83 | 5.34 | 4.82 | 15.16 | 5.88 | 5.44 | 5.00 | 4.60 | 18.67 | 5.58 | 5.22 | 4.78 | 4.27 | <b>113.54</b> |
|                    | Paja de trigo | 16.04                       | 5.68 | 5.35 | 4.97 | 4.53 | 17.32 | 5.49 | 5.16 | 4.89 | 4.39 | 16.06 | 5.14 | 4.86 | 4.43 | 4.11 | <b>108.41</b> |
| <b>221.95</b>      |               |                             |      |      |      |      |       |      |      |      |      |       |      |      |      |      |               |

Tabla 85: Estimación de  $Y_i$  y  $Y_k$  para los datos de durabilidad (%)

| A x C         | 1.5          | 3            | 4.5          |
|---------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Cabuya</b> | 38.93        | 36.07        | 38.53        |
| <b>Trigo</b>  | 36.57        | 37.25        | 34.60        |
| <b>A</b>      | <b>75.51</b> | <b>73.32</b> | <b>73.13</b> |

Tabla 86: Estimación de  $Y_j$  y  $Y_k$  para los datos de durabilidad (%)

| B x C         | 0            | 0.3          | 0.6          | 0.9          | 1.2          |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Cabuya</b> | 50.32        | 17.91        | 16.49        | 15.12        | 13.70        |
| <b>Trigo</b>  | 49.43        | 16.31        | 15.37        | 14.28        | 13.03        |
| <b>B</b>      | <b>99.75</b> | <b>34.22</b> | <b>31.86</b> | <b>29.40</b> | <b>26.73</b> |

Tabla 87: Estimación de  $Y_i$  y  $Y_j$  para los datos de durabilidad (%)

| A x B       | 1.5   | 3     | 4.5   |
|-------------|-------|-------|-------|
| <b>0.00</b> | 32.53 | 32.48 | 34.74 |
| <b>0.30</b> | 12.13 | 11.37 | 10.71 |
| <b>0.60</b> | 11.18 | 10.60 | 10.08 |
| <b>0.90</b> | 10.31 | 9.88  | 9.21  |
| <b>1.20</b> | 9.35  | 8.99  | 8.38  |

Tabla 88: Resumen del análisis ANAVA para la durabilidad

| Fuente de variación | Grado de libertad | Suma de cuadrados | Media de cuadrados | $F_{\text{Experimental}}$ | $F_{\text{Teórico}}$ |
|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|----------------------|
| A                   | 2                 | 0.12              | 0.06               | 0.28                      | 3.15                 |
| B                   | 4                 | 214.56            | 53.64              | 254.45                    | 2.53                 |
| C                   | 1                 | 0.03              | 0.29               | 1.38                      | 4.00                 |
| A x B               | 8                 | 0.89              | 0.11               | 0.53                      | 2.10                 |
| A x C               | 2                 | 0.46              | 0.23               | 1.08                      | 3.15                 |
| B x C               | 4                 | 0.03              | 0.01               | 0.03                      | 2.53                 |
| A x B x C           | 8                 | 1.47              | 0.18               | 0.87                      | 2.10                 |
| Error               | 60                | 12.65             | 0.21               |                           |                      |

Como el  $F_{\text{EXPERIMENTAL}} < F_{\text{TEÓRICO}}$

No se acepta:  $H_1$

**Anexo N° 7:** Registro de figuras del procedimiento experimental



Figura 38: Máquina de ensayos universal CONTROLS: Ensayo de compresión



Figura 39: Probeta con fibra natural ensaya a compresión



Figura 40: Conformación de probetas cilíndricas para el ensayo de contracción



Figura 41: Probetas sumergidas en agua durante 2 días



Figura 42: Ensayo granulométrico de la materia prima (suelos finos, arena gruesa y cal)



Figura 43: Ensayo de materia orgánica a una temperatura de 450°C



Figura 44: Ensayo de porcentaje de humedad a una temperatura de 110°C



Figura 45: Llenado del cono por 3 capas, ensayo del peso específico



Figura 47: Extracción del aire de la muestra para el ensayo de gravedad específica



Figura 46: Análisis químicos con la maquina multiparámetro HW Kessel

**Anexo N° 8:** Caratulas de los antecedentes empíricos



## FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE TIPOS DE SUELOS Y PORCENTAJES DE CaO EN ADOBE PRENSADO, SOBRE COMPRESIÓN, DURABILIDAD Y RESISTENCIA AL AGUA, EN ZONAS RURALES, TRUJILLO 2018

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Br. Claudia Yomira Llacza Cruzado

**Asesor:**

Mg. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú

**2018**

REFI UPN.2014; 2(2): 01-15

Comparación de la resistencia a la compresión

**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ADOBE SIN PAJA CON UNIDADES DE ADOBE CON PAJA EN CRUZ BLANCA - CAJAMARCA**

Comparison of compressive strength resistance of adobe brick built without straw and adobe bricks built with straw in Cruz Blanca - Cajamarca

Alex Cotrina-Mendoza<sup>1</sup>; Walner Limay-Silva<sup>1</sup>; Deyvis López-Alejandría<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Privada del Norte

Recibido may. 2014; aceptado jul. 2014; versión final nov. 2014.

Autor de correspondencia: Alex Cotrina, e-mail: alexiitoh.14@hotmail.com.

---

**Resumen**

Se construyeron ladrillos de adobe con paja y sin paja para comparar la resistencia de ambos a la compresión. El proceso incluyó la elaboración de los ladrillos de adobe con materiales de la localidad de Cruz Blanca (Cajamarca) y la posterior prueba en los laboratorios de la Universidad Privada del Norte. Los resultados indican que los ladrillos de adobe elaborados con paja tienen mayor resistencia. Es recomendable promover la elaboración de ese tipo de ladrillos de adobe.

**Palabras clave:** Ladrillos de adobe y paja, resistencia a la compresión.

**Abstract**

Adobe bricks were built with straw and adobe bricks without straw to compare both resistance to compression. The process included the development of adobe bricks with materials of the Cruz Blanca (Cajamarca) and subsequent testing in the laboratories of the Universidad Privada del Norte. The results indicate that the adobe bricks made with straw are more resistant. It is advisable to promote the development of this type of adobe bricks.

**Keywords:** Adobe and straw bricks, compressive Strength Resistance.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**"ANÁLISIS DEL INCREMENTO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA  
DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRA VEGETAL"**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
EDINSON FERNANDO PAJARES URTEAGA**

**ASESOR:  
M. EN I. HÉCTOR ALBARINO PÉREZ LOAYZA**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2015**



## FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“INFLUENCIA DE FIBRAS CORTAS DE AVE SOBRE LA;  
COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y TRACCIÓN EN UN  
MORTERO PROYECTADO”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Br. Holly Jack Rivera Cruz

**Asesor:**

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú

2017



## FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

"RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y COMPRESIÓN AXIAL DEL ADOBE COMPACTADO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE YUTE, CAJAMARCA 2017"

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

David Ricardo Alayo Diaz

Asesor:

Ing. Anita Alva Sarmiento

Cajamarca - Perú

2018

**Anexo N° 9:** Caratula de las normativas que se empleo



**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

**NTP 334.051  
1998**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI  
Calle De La Prosa 138, San Borja (LIMA 41) apartado 145

✓

Lima, Perú

## CEMENTOS. Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de Cemento Portland cubos de 50 mm de lado

Cement. Method for Compressive Strength of Portland Cement Mortars (Using 2-in (50 mm) Cube Specimens

1998-07-15  
2° EDICIÓN

R.0035-98- INDECOPI/CRT. Publicada el 98-08-05

Precio basado en 16 páginas

I.C.S.:91.100.10

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: Cementos, Cemento Portland, Morteros de Cemento Portland, Método, Aparatos, Materiales, Procedimiento, Precisión

Anexo N° 10: Ficha técnica de la maquina Universal

## UNIFRAME series electromechanical universal testers, 50KN cap.

EN 12697-34 | ASTM D1559 | ASTM D5581 | EN 12697-12 | ASTM D6927

- o Bastidor de carga digital automático autónomo
- o Máquina universal adecuada para una amplia gama de pruebas.
- o Control de velocidad / carga en circuito cerrado
- o Detección automática de fallos
- o Cuatro canales de adquisición de datos a bordo.
- o Instalación integrada de calibración de transductores
- o Velocidad infinitamente variable de 0.05 a 51 mm / min.
- o Pantalla táctil grande para ver gráficos en tiempo real y datos de prueba
- o CBR y Marshall prueban la facilidad de control automático.
- o Dispositivos limitadores de desplazamiento ajustables
- o Las funciones de aproximación y retorno rápidas aseguran el ahorro de tiempo de prueba
- o Botón de parada de emergencia CE



|   |                                  |
|---|----------------------------------|
|   | 70-T1182                         |
| Capacidad máxima de carga (KN)            | 50                               |
| Velocidad mínima de ensayo (mm/min)       | 0.05                             |
| Velocidad máxima de ensayo (mm/min)       | 51                               |
| Tipo de control                           | Desplazamiento/Velocidad y carga |
| Rango de carga (N/sec)                    | 1-9999                           |
| Velocidad máxima de aproximación (mm/min) | 40                               |
| Potencia nominal (W)                      | 800                              |
| Viaje ram máximo (mm)                     | 100                              |
| Span vertical máximo (mm)                 | 800                              |
| Span horizontal (mm)                      | 380                              |
| Dimensión global (wxdxh) (mm)             | 500x570x1300                     |
| Peso aproximado (kg)                      | 110                              |

## Anexo N° 11: Certificado de ensayos en la Universidad Privada del Norte de Trujillo



### CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIOS

El que suscribe, encargado del laboratorio de Minas, hace constar por medio de la presente que el Br. Rodriguez Elias Breyner Gyufeppe con D.N.I N° 70749226, ha realizado el ensayo de resistencia a compresión en las instalaciones del laboratorio de Minas de esta universidad, requeridos para la tesis **INFLUENCIA DE TAMAÑO, PORCENTAJE Y TIPO DE FIBRA ORGANICA EN ADOBES ESTABILIZADOS SOBRE LA COMPRESION, CONTRACCION Y DURABILIDAD EN CONTRUCCIONES RURALES, TRUJILLO 2019** los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 05 de diciembre de 2019

  
Carmen Seminario Arriaga  
Asistente Lab. Minas  
Encargado del Laboratorio de Minas  
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

**Anexo N° 12: Certificado de ensayos en la Universidad Nacional de Trujillo**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Facultad de Ingeniería



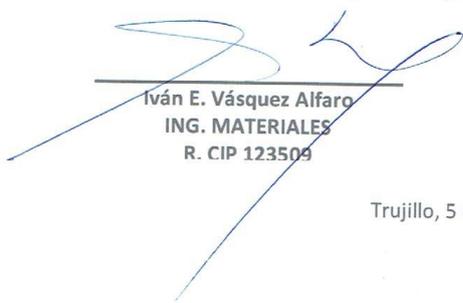
INGENIERIA DE  
MATERIALES

INFORME N° 01/ DIC. 19

**CONSTANCIA DE ENSAYOS EN LABORATORIO**

|                      |  |
|----------------------|--|
| Solicitante/ DNI     | Rodriguez Elias Breyner Gyufeppe / 70749226  |
| Institución          | Universidad Privada del Norte/ Sede Trujillo   |
| Investigación        | Influencia de tamaño, porcentaje y tipo de fibra orgánica en adobes estabilizados sobre la compresión, contracción y durabilidad en construcciones rurales, Trujillo 2019  |
| Ensayos              | <ul style="list-style-type: none"><li>- Granulometría seco y lavado (3 MUESTRAS)</li><li>- Porcentaje de humedad (3 MUESTRAS)</li><li>- Materia orgánica (3 MUESTRAS)</li><li>- Gravedad específica (3 MUESTRAS)</li><li>- Peso específico (3 MUESTRAS)</li><li>- Límites de Atterberg (3 MUESTRAS)</li><li>- Análisis químicos (3 MUESTRAS)</li><li>- Contracción (90 MUESTRAS)</li><li>- Durabilidad (90 MUESTRAS)</li></ul> |
| Equipos / Parámetros |  |

Jefe de Laboratorio de concreto y reciclado: Ing. Ivan Eugenio Vásquez Alfaro

  
Iván E. Vásquez Alfaro  
ING. MATERIALES  
R. CIP 123509

Trujillo, 5 de diciembre del 2019