

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DE LA CENIZA Y CEMENTO, EN  
ADOBES ECOLÓGICOS PRENSADOS; SOBRE LA  
COMPRESIÓN Y DURABILIDAD, TRUJILLO 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera civil

Autora:

Lisette Nataly Rios Vargas

Asesor:

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo - Perú

2019



## DEDICATORIA

A Dios; porque siempre ha estado a mi lado en cada momento de mi vida, sobre todo en los procesos de aprendizaje y evolución, brindándome la sabiduría y fuerza que he requerido y sobre todo por darme fe y optimismo, para cumplir cada meta que me he propuesto.

A mi padre Ing. José Ríos Reyes y a mi amada e inolvidable hermanita Ing. Flor Elizabeth Ríos Vargas, quiénes formaron parte de mi vida y fueron los pilares fundamentales en mi crecimiento, dejándome el mejor legado que pude tener: sus principios y valores, su amor por la vida, el trabajo, el esfuerzo, su vocación por servir y sobre todo su pasión por la Carrera de Ingeniería Civil. A ellos dedico en mención honrosa y en conmemoración al día que partieron de este mundo en su ley como ingenieros civiles, dejándome su espíritu, empuje y energía para poder culminar esta importante meta: con alma vida y corazón.

A mi amada y adorada madre Luisa Jeri, que es mi ángel y mi motor principal de vida, la que me ha apoyado en todo momento, quién con su amor inigualable y motivación constante pude culminar esta etapa importante en mi vida.

A mis hermanos José Luis y Sandrita quiénes en mi proceso de estudiante compartieron sus conocimientos de ingeniería conmigo y me ayudaron incondicionalmente cuando lo necesité,  
los amo mucho.

## AGRADECIMIENTO

Especialmente a mi padre y a mi hermana en el cielo, por sus consejos, valores y ejemplo de vida, dejándome la vaya muy alta por seguir sus estándares y quiénes quisieron lo mejor para mí. A mi mayor tesoro: mi madre Luisa, mis hermanos José Luis y Sandra por nunca dejarme sola, por confiar y creer en mis capacidades, por los consejos, motivación y apoyo. A mi querido Papanino, quién fue un segundo padre para mí y me apoyó incondicionalmente para cumplir esta etapa fundamental en mi vida.

Agradezco al estimado y apreciado Ing. Iván E. Vásquez Alfaro quién tuvo la paciencia y comprensión de poder guiarme en este proceso, desde el día que fue mi profesor hasta el día que fue mi asesor de esta investigación, quién me apoyó con sus conocimientos, disciplina, esfuerzo diario en el laboratorio y el cuál también me guío de sobremanera hasta poder consolidar esta etapa.

Gracias al grupo de investigación ACIMAT, por este mosaico interesante de personas capaces, solidarias y amables, mis compañeros que me ayudaron a cargar los sacos de tierra, cemento, etc. y los cuales me apoyaron en todo momento, gracias a ustedes, con quiénes nos convertimos en amigos y en una segunda familia, los llevo en mi corazón y en mis memorias, en esta experiencia del desarrollo de esta tesis.

A todas las personas que me apoyaron e impulsaron para culminar esta importante meta en mi vida, gracias por haber sido participe en el proceso y por estar a mi lado.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
3.1. Materiales de construcción.....	61
3.2. Diseño de mezcla .....	66
3.3. Ensayos físicos.....	67
3.4. Ensayo mecánico .....	69
3.5. Evaluación económica .....	71
3.6. Evaluación estadística.....	75
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>77</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>98</b>
Anexo N°01: Matriz de consistencia .....	98
Anexo N°02: Instrumentos .....	99
Anexo N°03: Validación de instrumentos.....	101
Anexo N°04: Normativas .....	104
Anexo N°05: Panel fotográfico.....	118
Anexo N°06: Propuesta de diseño vs adobe tradicional.....	124

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características químicas de la ceniza, ASTM C-618 .....	14
Tabla 2: Características físicas de la ceniza .....	16
Tabla 3: Características físicas opcionales de la ceniza ASTM C-618 .....	17
Tabla 4: Composición química de la ceniza del bagazo cubano .....	18
Tabla 5: Composición química de ceniza de bagazo cubano y peruano .....	20
Tabla 6: Compuestos principales del cemento Portland .....	22
Tabla 7: Hipótesis general.....	22
Tabla 8: Hipótesis específicas.....	22
Tabla 9: Matriz de operacionalización de variables.....	24
Tabla 10: Variables de estudio de investigación .....	25
Tabla 11: Matriz de diseño de variables.....	25
Tabla 12: Normas para ensayos de caracterización de la tierra.....	35
Tabla 13: Serie de tamices MTC E 107 .....	35
Tabla 14: Esquema del análisis granulométrico del suelo.....	36
Tabla 15: Rango para el módulo de finura ASTM C 136 .....	37
Tabla 16: Esquema para el porcentaje de humedad .....	38
Tabla 17: Esquema de peso específico y absorción .....	39
Tabla 18: Plantilla de toma de datos del límite líquido .....	40
Tabla 19: Plantilla de toma de datos del límite plástico .....	41
Tabla 20: Clasificación del suelo según el I.P .....	42
Tabla 21: Esquema de composición química de materiales .....	45
Tabla 22: Plantilla de toma de datos de materia orgánica .....	45
Tabla 23: Clasificación del nivel de materia orgánica. ....	45
Tabla 24: Métodos para ensayo Proctor modificado.....	46
Tabla 25: Toma de datos para Proctor modificado .....	48
Tabla 26: Diseño de mezcla de adobes con ceniza y cemento .....	53
Tabla 27: Esquema para resistencia a la compresión .....	58

Tabla 28: Toma de datos para la durabilidad .....	59
Tabla 29: Análisis de costo para recolección de ceniza .....	60
Tabla 30: Análisis de costos unitarios para tamizado de ceniza.....	60
Tabla 31: Análisis de costo para 1 kg de ceniza.....	61
Tabla 32: Contenido de humedad, suelo de campiña de Moche .....	62
Tabla 33: Composición de las muestras de la tierra.....	62
Tabla 34: LL, LP,IP, clasificación SUCS y proctor modificado.....	63
Tabla 35: Ph y conductividad de materias prima .....	64
Tabla 36: Composición química de cenizas de Trupal.....	65
Tabla 37: Propiedades físicas del cemento tipo I Pacasmayo .....	65
Tabla 38: Diseño de Mezcla de adobe con diferentes % de ceniza y % de cemento.....	66
Tabla 39: Durabilidad de adobes prensados al 9% de cemento .....	67
Tabla 40: Durabilidad de adobes prensados al 12% de cemento.....	68
Tabla 41: Resistencia a la compresión de adobes prensados a 9% de cemento .....	69
Tabla 42: Resistencia a la compresión de adobes prensados a 12% de cemento .....	70
Tabla 43: Precio de adobe artesanal tradicional por zona, 2019 .....	71
Tabla 44: Precio de adobe estabilizado con cemento.....	71
Tabla 45: Costo de adobe prensado con 25% de ceniza y 9% de cemento .....	72
Tabla 46: Costo de adobe prensado con 25% de ceniza y 12% de cemento .....	72
Tabla 47: Costo de muro de 1 m2, junta de 1.5 cm con adobes artesanal .....	74
Tabla 48: Muro de adobe prensado con 25% de ceniza y 9% de cemento.....	74
Tabla 49: Muro de adobe prensado con 25% de ceniza y 12% de cemento.....	75
Tabla 50: Resumen del análisis ANAVA del ensayo de resistencia a la compresión .....	75
Tabla 51: Resumen del análisis ANAVA del ensayo de durabilidad.....	76
Tabla 52: Resumen del análisis ANAVA del ensayo de resistencia a la compresión .....	92
Tabla 53: Resumen del análisis ANAVA del ensayo de durabilidad.....	93
Tabla 54: Estimación de Yj y Yi para resistencia a la compresión .....	94
Tabla 55: Resumen del análisis ANAVA del ensayo de resistencia a la compresión .....	94
Tabla 56: Estimación de Yj y Yi para durabilidad.....	95
Tabla 57: Análisis de varianza de los resultados experimentales del ensayo de durabilidad.....	95

Tabla 58: Porcentaje de contenido de humedad – suelo .....	96
Tabla 79: Costo de adobes artesanales para muro de 1 m <sup>2</sup> y junta de 1.5 cm.....	97
Tabla 80: Matriz de consistencia.....	98
Tabla 81: Valores críticos de la distribución 0.05, $V_1$ , $V_2$ .....	112
Tabla 82: Límites máximos permisibles para agua potable SUNASS .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciudad de barro más grande del mundo.....	14
Figura 2: El adobe material de construcción en lugares rurales .....	16
Figura 3: Emergencias ocurridas a nivel nacional según tipo de fenómeno .....	17
Figura 4: Resistencia a la compresión y durabilidad en equilibrio de adobes .....	20
Figura 5: Ensayo de durabilidad para adobes con cemento.....	20
Figura 6: Ensayo de compresión y durabilidad, adobes para muro de mampostería .....	25
Figura 7: Ensayo de durabilidad para adobes de muro de mampostería .....	25
Figura 8: Resistencia a compresión con CAO (kg/cm <sup>2</sup> ).....	26
Figura 9: Durabilidad de adobes prensados con CaO .....	27
Figura 10: Resistencia a compresión estabilizado con CBCA .....	28
Figura 11: Ensayo de resistencia a la compresión con CBC .....	28
Figura 12: Resistencia a la compresión de ladrillos con CBCA .....	29
Figura 13: Comparación de resistencias de adobe patrón y experimental .....	31
Figura 14: Triángulo de textura del suelo, USDA.....	27
Figura 15: Ensayo de caída de bola, Minke 1994 .....	28
Figura 16: Dimensiones estándar de un adobe artesanal.....	<a href="#">29</a>
Figura 17: Clasificación de materiales puzolánicos .....	30
Figura 18: Proceso productivo obtención de ceniza de caña de azucar.....	31
Figura 19: Proceso experimental de desarrollo de la investigación .....	32
Figura 20: Ubicación del lugar de extracción de la tierra .....	33
Figura 21: Proceso de recolección de ceniza.....	44
Figura 22: Proceso de recolección de ceniza.....a .....	44
Figura 23: Curva de fluidez para determinar limite líquido .....	45
Figura 24: Simbología de suelos, clasificación SUCS .....	46
Figura 25: Curvas típicas de compactación Shuan, 2004.....	47
Figura 26: Tamizado de tierra originaria de campiña de moche .....	48
Figura 27: Tamizado de ceniza por malla N°200.....	49



Figura 28: Ceniza antes del horno y después de tamizar.....	50
Figura 29: Toma de pesos de materiales para adobe .....	54
Figura 30: Toma de pesos de materiales para adobe prensado.....	55
Figura 31: Mezcla de materiales: tierra, ceniza y cemento .....	56
Figura 32: Conformación de adobes en prensadora CINVA RAM.....	57
Figura 33: Adobe prensado en máquina CINVA RAM .....	58
Figura 34: Almacenamiento de adobes prensados. UNT .....	60
Figura 35: Curvas granulométricas de la tierra de campiña de moche.....	64
Figura 36: Diagrama de fluidez % de humedad y nro de golpes.....	65
Figura 37: Fo teórico, zona de aceptación y rechazo .....	70
Figura 38: Curvas granulométricas de la tierra de campiña de moche.....	75
Figura 39: Proctor modificado .....	79
Figura 40: Mecanismo de compactación de tierra, prensa Cinva – Ram .....	80
Figura 41: Durabilidad de adobes prensados con ceniza y cemento .....	84
Figura 42: Comparativa de pérdida de peso en antecedentes .....	84
Figura 43: Resistencia a la compresión de adobes con ceniza y cemento.....	85
Figura 44: Resistencia a la compresión, comparativa según antecedentes.....	85
Figura 46: Costo unitario de adobe tradicional, ladrillo de arcilla cocida y adobe prensado .....	91
Figura 47: Costo por muro de 1m2, entre adobe tradicional y adobe prensado .....	92
Figura 48: Fo teórico, zona de aceptación y rechazo .....	95
Figura 49: Mapa de ubicación para elaboración de adobes. UNT.....	100
Figura 50: Mapa de ubicación para extracción de tierra .....	103
Figura 51: Hoja de observación para ensayos experimentales .....	104
Figura 52: Certificado de laboratorio UNT.....	105
Figura 53: Carta de compromiso, uso de laboratorio .....	110
Figura 54: Norma E.080_2006 y E.080_2017 .....	111
Figura 55: Reglamento Nacional de Edificaciones. E.080_2017.....	112
Figura 56: Normativa para ensayos experimentales NTP339.128 .....	113
Figura 57: Normativa para ensayos experimentales NTP339.131 .....	114
Figura 58: Normativa para ensayos experimentales NTP339.127.....	115

Figura 59: Normativa para ensayos experimentales NTP339.129 .....	115
Figura 60: Normativa para ensayos experimentales NTP339.134 .....	116
Figura 61: Normativa para ensayos experimentales NTP339.141 .....	116
Figura 62: Puntos porcentuales de la distribución de F0.05, v1, v2.....	117
Figura 63: Política ambiental y de calidad Trupal S.A. ....	117
Figura 64: Composición química de la ceniza de Trupal.....	118
Figura 65: Ensayo de límites de atterberg - Laboratorio UPN.....	118
Figura 66: Ensayo de casa grande - Laboratorio UPN.....	119
Figura 67: Ensayo de proctor modificado - Laboratorio UPN.....	119
Figura 68: Ensayo de proctor modificado, laboratorio UPN.....	120
Figura 69: Bloque de adobes puestos a luz natural a secar .....	120
Figura 70: Medición de adobes para ensayo de esfuerzo a la compresión.....	121
Figura 71: Ensayo de esfuerzo a la compresión. UNT.....	121
Figura 72: Ensayo de durabilidad 2 horas después de sumersión .....	122
Figura 73: Retiro de adobes del ensayo de durabilidad. Taller de Materiales.....	122
Figura 74: Secado al horno de adobes después de ensayo de durabilidad.....	123
Figura 75: Secado de adobes a luz natural – Laboratorio de concreto UNT.....	123

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 : Tamaño de la muestra.....	24
Ecuación 2 : Módulo de finura.....	36
Ecuación 3 : Porcentaje retenido.....	36
Ecuación 4 : Porcentaje retenido acumulado .....	36
Ecuación 5 : Porcentaje que pasa .....	37
Ecuación 6 : Porcentaje de humedad.....	37
Ecuación 7 : Densidad seca.....	38
Ecuación 8 : Densidad saturada superficialmente seca .....	38
Ecuación 9 : Densidad aparente .....	38
Ecuación 10 : Porcentaje de absorción.....	38
Ecuación 11 : Índice de plasticidad.....	41
Ecuación 12 : Materia orgánica.....	44
Ecuación 13 : Volumen del cilindro.....	47
Ecuación 14 : Densidad seca.....	47
Ecuación 15 : Fórmula de resistencia a la compresión.....	58
Ecuación 16 : Variación de pérdida de peso .....	59
Ecuación 17 : Porcentaje de pérdida de pesos.....	59
Ecuación 18 : Cálculo de unidades de adobe .....	73

## RESUMEN

El adobe es uno de los materiales de construcción más antiguos todavía en uso. Es un material de construcción de bajo costo y de acceso fácil. Las estructuras de adobe son generalmente autoconstruidas, porque la técnica constructiva tradicional es simple. Así mismo hoy existe una lucha continua para reducir el impacto negativo ambiental y a su vez en países desarrollados tienen buenas prácticas de ahorro y reciclaje de recursos naturales orgánicos. Este trabajo de investigación tiene como finalidad la incorporación de ceniza volante, excedente de la fábrica Trupal, como alternativa para mejorar las propiedades y características del adobe prensado, así mismo contribuir al medio ambiente y reducir costos. La presente investigación fue realizada en la ciudad de Trujillo, los ensayos se desarrollaron en el laboratorio de Ingeniería de materiales de la Universidad Nacional de Trujillo, donde se determinó la influencia de la ceniza en un adobe ecológico prensado, adicionándole cemento, sobre la compresión y durabilidad. En zonas rurales de Trujillo, otras provincias de La Libertad y del Perú, el adobe es el segundo material más usado para la construcción de viviendas; La deficiencia sísmica de la construcción de adobe se debe al elevado peso de la estructura, a su baja resistencia y a su comportamiento frágil.

La presente investigación es de tipo experimental. Para el desarrollo se utiliza ceniza excedente de la fábrica de Trupal con 5%,10%,15%,20% y 25% y cemento tipo I, con 9% y 12%. Se obtuvieron 100 adobes de 20cm de largo x 13cm de ancho x 9 cm de alto que fueron evaluados sobre la resistencia a la compresión y durabilidad.

Se desarrollaron los ensayos de caracterización para la tierra (extraída de la Campiña de Moche), como la granulometría, humedad, materia orgánica, clasificación SUCS, límite de attemberg y proctor modificado.

Partiendo desde el punto de vista ecológico, para la estabilización del adobe con un 25% de ceniza con 9% de cemento reporta un 72.6 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia y un 8.28% de pérdida de peso relacionado como durabilidad. El valor máximo alcanzado fue de 110kg/cm<sup>2</sup> de resistencia con una adición de 10% de ceniza y 12% de cemento. Y el mayor valor de concentración de durabilidad con respecto a la pérdida de peso, fue la adición de 25% de ceniza y 12 % de cemento con 9.23% de pérdida de peso. Determinando que el óptimo porcentaje de 25 % de ceniza con 9% de cemento.

**Palabras clave:** Adobes, ceniza, cemento, resistencia a la compresión, durabilidad.

## ABSTRACT

Adobe is one of the oldest building materials still in use. It is a low-cost and easily accessible building material. Adobe structures are generally self-built, because the traditional construction technique is simple. Likewise, today there is a continuous struggle to reduce the negative environmental impact and at the same time in developed countries they have good practices of saving and recycling of organic natural resources. The purpose of this research work is to incorporate fly ash, surplus from the Trupal factory, as an alternative to improve the properties and characteristics of the pressed adobe, as well as contribute to the environment and reduce costs.

The present research was carried out in the city of Trujillo, the tests were developed in the Materials Engineering laboratory of the National University of Trujillo, where the influence of ash in an ecological pressed adobe, adding cement, on compression and durability. In rural areas of Trujillo, other provinces of La Libertad and Peru, adobe is the second most used material for the construction of houses; The seismic deficiency of adobe construction is due to the high weight of the structure, its low strength and its brittle behavior.

The present investigation is experimental. For the development, excess ash from the Trupal factory is used with 5%, 10%, 15%, 20% and 25% and type I cement, with 9% and 12%. 100 adobes of 20cm long x 13cm wide x 9cm high were obtained that were evaluated on the resistance to compression and durability.

Characterization tests were developed for the soil (extracted from the Moche Countryside), such as granulometry, humidity, organic matter, SUCS classification, attemberg limit and modified proctor.

Starting from the ecological point of view, for the stabilization of the adobe with 25% ash with 9% cement, it reports a 72.6 kg / cm<sup>2</sup> of resistance and an 8.28% loss of weight related to durability. The maximum value reached was 110kg / cm<sup>2</sup> of resistance with an addition of 10% ash and 12% cement. And the highest durability concentration value with respect to weight loss was the addition of 25% ash and 12% cement was 9.23%. Determining that the optimal percentage of 25% ash with 9% cement.

**Keywords:** adobes, ash, cement, compressive strength, durability.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El adobe es un material de construcción económico elaborado con arena, arcilla y agua, al que se le añade fibras o material orgánico, fabricado de modo tradicional modelado en forma de ladrillo dejándose secar al sol. Es conocido por ser uno de los más antiguos y de uso más difundido. (Houben y Guillard 1994).

La época colonial (1540 - 1821) se caracterizó también por el uso primordial y extensivo de la construcción con tierra. Durante la colonia, los españoles realizaron importantes obras de mampostería de adobe, tapial y posteriormente quincha. Muchas de las numerosas iglesias fueron construidas en tierra, con muros en adobe o tapial, y bóvedas y cúpulas en quincha. (Blondet, Vargas, Tarque, Iwaki, 2011, p. 42).

En el Perú influyeron varias culturas en la construcción usando la mampostería de adobe, el tapial (mampostería de tierra apisonada), y la quincha (bastidores de troncos de madera, caña o fibras vegetales, rellenos con tierra). Ubicándonos en La Libertad Chan Chan, se caracterizó por ser la ciudad de adobe pre-inca de barro más grande del mundo. Ver Figura N°1, con 36 km de área y con muros de adobe y tapial muy gruesos y altos, una muestra clara del dominio de la tecnología constructiva que tuvieron los chimú.



**Figura 1:** *Ciudad de barro más grande del mundo*

Los tamaños de los adobes en nuestro país, si tomamos en cuenta los existentes desde la antigüedad como los hallados en las Huacas de la Luna ubicadas en la provincia de Trujillo, son de tamaño estándar promedio de 30cm de largo x 19cm de ancho x 13 cm de alto.

Actualmente en la costa y en la sierra de la Libertad las dimensiones han ido cambiando a través del tiempo, modificando su tamaño con la finalidad de tener más área en las viviendas. Actualmente un adobe artesanal promedio, en sus dimensiones se asemejan a las de un ladrillo, tienen medidas de 8.3 cm de altura, 12.5 cm de ancho y 21.3 cm de largo. En otras partes de la sierra del Perú existen medidas típicas de 20 cm de ancho, 40 cm de largo y 10 cm de alto. Las unidades de tapial tienen dimensiones de ancho mínimo de 40 cm, altura máxima de 60 cm y longitud máxima de 150 cm.

La Norma Técnica de Edificación E.080\_2006 nos indica que los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular. Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones: que para adobes rectangulares el largo debe ser aproximadamente el doble del ancho y la relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1, en lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.

En la actualidad, el adobe es un material de construcción usado en lugares rurales y asentamientos humanos, donde habitan familias de bajos recursos económicos quienes optan por este material debido a que no son muy costosos, mostrados en la figura N°2. Al año 2010, el Instituto Nacional de Estadística e Informática registró que más del 34% de las viviendas existentes en el Perú eran de adobe y tapial, siendo habitadas por más de 10 millones de peruanos. (Instituto nacional de estadística e informática – Nota de prensa N° 083 – 30 Mayo 2014.)



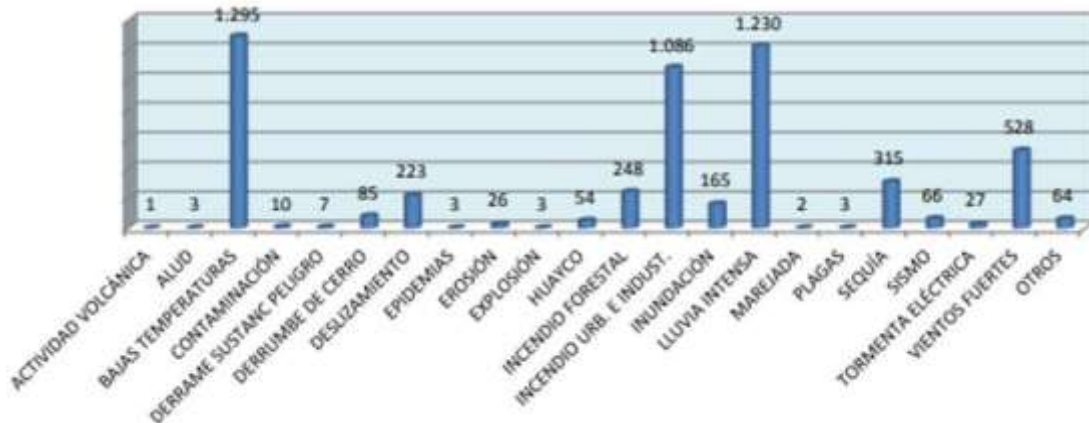
**Figura 2:** *El adobe material de construcción en lugares rurales. Rpp, 2014.*

El adobe es un material que usa como materia prima suelo y agua, en algunos casos se les adiciona pajilla como refuerzo. Los adobes presentan propiedades como una baja conductividad de calor y mediana resistencia de compresión, pero como desventajas estos son materiales poco resistentes ante el contacto con el agua, pues tienden a degradarse, deformarse y pierden resistencia a la compresión. Los adobes presentan propiedades como una baja conductividad de calor el cual es un buen aislante de frío y de calor exterior, por lo que permite significativas disminuciones de costos en el mantenimiento térmico de viviendas y edificios y principalmente gasta menor gasto energético.

Existen enemigos naturales del adobe como las lluvias, inundaciones, la humedad y el agua. La temporada de lluvias o periodo lluvioso en nuestro país se desarrolla entre los meses de setiembre a abril, con mayores precipitaciones en los meses de verano. La ocurrencia periódica de precipitaciones extraordinarias, ya sea por presencia del “Niño”, “Niña” o de otras perturbaciones climáticas, hace que los cauces de los ríos incrementen sus caudales extremos, originándose desbordes o inundaciones en las zonas urbanas y



rurales; y como consecuencia desastres en las viviendas (Ver figura 3). Debido a que estos son materiales poco resistentes ante el contacto con el agua, pues tienden a degradarse, deformarse y pierden resistencia a la compresión. (Norma técnica de edificación – E.080 “Adobe”). Como se muestra en la figura N°03.



**Figura 3:** Emergencias ocurridas a nivel nacional según tipo de fenómeno. Indeci, 2018.

La construcción tradicional de adobe presenta una mala respuesta ante movimientos sísmicos, debido a que estas estructuras carecen de ductilidad y son por lo tanto muy frágiles. El deficiente comportamiento sísmico de estas construcciones es debido al peso de las estructuras, su baja resistencia y su comportamiento frágil (Blondet, 2004- 2011).

Otra desventaja de usar este material es el manejo, porque es muy pesado y se requiere de un mayor número de personas para colocarlo, por las diferentes dimensiones que tienen, por el exceso de deformación y la variación dimensional que se obtienen cuando lo elaboran manualmente con moldes de madera , por consecuente es uno de los motivos por el cual se dejó de utilizar; sin embargo existen una técnica para elaborar adobes con maquinaria, siendo esta mucha más ventajosa debido a que no requiere de ningún tipo de consumo energético, la denominada prensa CINVA Ram de operación manual, haciendo que sea más sencilla su elaboración, su calidad, su resistencia es elevada, reduciendo el tiempo y la mano de obra entre otras ventajas más. Los estudios para

estabilización de la tierra con aglomerantes, sobre todo con cemento que comenzó en los años '30 del siglo XX, abrieron un abanico de posibilidades para la construcción con el nuevo material, que ganó fuerza con el desarrollo de una prensa manual muy simple para fabricación de bloques, conocida por el nombre de CINVA-RAM (Neves, 2007).

A nivel económico, el sector de la construcción en Perú es una de las actividades económicas más importantes del país. Además de su capacidad de generar empleo por ser intensivo en mano de obra, la evolución de este sector está estrechamente ligada al desempeño de diversas industrias y actualmente existe una lucha constante por la conservación del medio ambiente y el aprovechamiento de desechos y la necesidad exponencial de poder aprovechar los recursos naturales.

Por consecuencia, en el sector constructivo, existe la necesidad de crear nuevos materiales que sean ecológicos y económicos. A lo largo del tiempo, el hombre busca por sus propios medios, alternativas para poder mejorar propiedades físicas y mecánicas del adobe, incorporando cal, paja, fibras de planta, gel de plantas, excremento de animal, entre otros.

Con la finalidad de erradicar la contaminación ambiental en Trujillo y la calidad de los materiales en la construcción se utilizaron cenizas de bagazo de caña de azúcar como un material puzolánico mejorando sus propiedades físicas y mecánicas del concreto, por otro lado, se logra aprovechar los residuos industriales de las empresas azucareras que radican en esta ciudad. (Calderón & Martínez, 2017).

Las cenizas volantes se constituyen en un residuo ecológicamente problemático que deben eliminar las centrales termoeléctricas evitando que permanezcan en los depósitos donde son almacenados y ubicadas al aire libre. Esta práctica se convierte en un peligro

ambiental, ya que su contacto con el agua, el suelo y el aire, genera graves problemas de contaminación (Cifuentes P. & Ferrer J., 2006). Siendo la contaminación ambiental, cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, el agua, el suelo y otros factores ambientales que pueden afectar de manera adversa la salud, la supervivencia y las actividades de los seres vivos. Entonces existe una necesidad apremiante y continua de desarrollar nuevos métodos de reciclaje para la ceniza volante de carbón frente a sus peligros y sus aplicaciones actuales y potenciales incluido el uso en la mejora del suelo, industria de la construcción, industria cerámica, catálisis, etc. (Yao, y otros, 2015).

Hay estudios donde ya se han realizado investigaciones utilizando cenizas como en Colombia donde se evaluó la aplicación de cenizas provenientes de la combustión de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento portland para la fabricación de morteros (Libreros & Henao, 2016).

Muchos estudios han sido desarrollados para evaluar la influencia del uso de ceniza volante con propiedades puzolánicas en la trabajabilidad del concreto y en su calidad, en términos de su resistencia a la compresión y de los niveles de contracción por secado; en uno de los estudios el objetivo consistió en determinar el consumo óptimo de ceniza volante para obtener la máxima resistencia a la compresión en concretos (Duran H. & Rivera T., 2007).

La producción nacional de ceniza se ve reflejada dentro de dos departamentos los cuales son Lambayeque (33%) y La Libertad (44%). Aquí destaca el territorio del departamento de La Libertad donde se encuentran dos zonas de producción las cuales son Ascope y sus distritos de Casa Grande y Santiago de Cao con el 72% de la producción departamental y Trujillo con el 28%. En Casa Grande se encuentra la empresa

Agroindustrial Casa Grande, en Cartavio la empresa azucarera Cartavio S.A.A. y Agroindustrial Laredo S. A. , las cuales son la mayores productora de azúcar en la libertad, y por ende la ceniza de la quema de la hoja de caña de azúcar (RPP, 2017).

Casa Grande, Cartavio y Laredo, trupal y otras empresas del grupo Gloria, obtienen su fuerza eléctrica a través de calderos que presionan vapor y turbinas que lo transforman a corriente eléctrica. El insumo para producir el calor necesario es utilizar el bagazo de caña de azúcar seco, el cual sirve para ser aprovechado como combustible por su alto poder calorífico, generando un subproducto llamado ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA). Estas cenizas pasan a ser eliminadas ocasionando daños al medio ambiente: en las áreas verdes, esterilización de las tierras y daño a la comunidad aledaña de estas industrias. El aprovechamiento de todos los desechos de las industrias azucareras, se traduce en fomentar el reciclado de todos sus residuos.

Ante este planteamiento la CBCA está en la Región La Libertad como un material con características puzolánicas que pueden modificar las propiedades del adobe, dándole un valor agregado a este desecho industrial. Esta investigación pretende usar este material de desecho; para generar un nuevo material, como es el adobe modificado, con la intención de reducir el impacto ambiental negativo que produce la ceniza en una población determinada y al mismo reducir costos.

Dada estas situaciones problemáticas, surge una necesidad de mejorar la calidad de adobes en Trujillo para aumentar su resistencia a la compresión y durabilidad y al mismo tiempo disminuir la contaminación ambiental reutilizando las cenizas desechadas por las empresas industriales, las cuales generan toneladas de cenizas en un almacén descubierto, exponiéndolas al aire libre, generando enfermedades respiratorias a las personas de las viviendas aledañas y el uso cemento para que este material tenga mejores propiedades a la resistencia a la compresión y durabilidad.

Teniendo en cuenta, el suelo-cemento se desarrolló y patentó en Estados Unidos hacia la década de 1920 para la construcción de carreteras y hacia finales de la década de 1960 se trabajó bastante sobre la estabilización de suelos con asfalto, lo que dio origen al programa Construcción con bloques estabilizados (COBE), para la construcción de viviendas con mejores unidades de adobe que no sean afectadas por la humedad, que es el principal problema que produce la desintegración de las mismas, porque el agua era absorbida por las partículas de arcilla y al emplear emulsión asfáltica en su elaboración, cada partícula de arcilla es recubierta por la emulsión asfáltica, que al evaporarse el agua, deja la partícula aislada y no podrá ser nuevamente hidratada (Arboccó, 2012, p.5).

El aprovechamiento de todos los desechos de las industrias, se traducen en fomentar en reciclado todos sus residuos. Esto motiva investigaciones en materiales alternativos para sus posibles aplicaciones, como en este caso, para la construcción. (Hernández Jaén, 2011)

En la actualidad existen distintos tipos de estabilizantes (el cemento, la cal, las emulsiones asfálticas) que brindan mejoría en las propiedades tanto físicas, químicas y mecánicas de los adobes frente a las situaciones naturales que están expuestas. La estabilización química por impermeabilización consiste en añadir sustancias derivadas del petróleo.

En La Libertad tenemos diversos tipos de cementos en el mercado, tales como: cemento Inka, Qhuna, Quisquella o Cemex Perú, Mochica, Pacasmayo, etc. Finalmente, se optó utilizar este último continuando las líneas de investigación de Nureña, 2017 y Reyna, 2018, siendo Cementos Pacasmayo, una de las principales empresas en el norte de Perú con 55 años de experiencia en la fabricación y comercialización de cemento, cal,

agregados, concreto premezclado, elementos prefabricados entre otros materiales de construcción, es por eso que se empleó el cemento de dicha marca tipo 1 para realizar esta investigación.

La influencia de la ceniza de caña excedente de la empresa Trupal y cemento tipo I Pacasmayo a una unidad de adobe prensado con tierra de la campiña de moche, puede aumentar significativamente el aumento de las propiedades del adobe, contribuyendo así a la reutilización de este desecho que perjudica al medio ambiente. Esta investigación evaluará con distintos porcentajes de ceniza y porcentaje de cemento hasta encontrar la proporción óptima del porcentaje de ceniza de caña de azúcar para que el adobe prensado llegue a una resistencia a la compresión mayor a la de un adobe manualmente artesanal y frente a la durabilidad, desde el punto de vista ecológico, para que en un futuro esta sea una alternativa de adobes prensados ecológicos con alta resistencia y económicos. Así mismo, este estudio permitirá que la información obtenida sea utilizada en diferentes partes del país, teniendo en cuenta las consideraciones del suelo y clima.

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influye el porcentaje de ceniza de la empresa trupal y cemento, sobre la compresión y durabilidad en adobes ecológicos prensados, Trujillo 2019?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la influencia del porcentaje de ceniza y cemento en adobes ecológicos prensados, sobre la compresión y durabilidad, Trujillo 2019.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Obtener el óptimo porcentaje de la resistencia a compresión y durabilidad en un adobe ecológico prensado con ceniza y cemento.

- Caracterizar el suelo a partir de los ensayos de granulometría, límite líquido, plástico, peso específico, materia orgánica y Proctor modificado.
- Contrastar estadísticamente por el método ANAVA que las variables independientes influyen en las variables dependientes.
- Realizar el cálculo por unidad y su costo de aplicación para muro.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

La influencia de la ceniza de la fábrica de trupal, mejorará las características y propiedades incrementando la compresión y durabilidad, en adobes ecológicos prensados, Trujillo 2019.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

El porcentaje óptimo de ceniza y cemento, mejorará la compresión en adobes ecológicos prensados, Trujillo 2019.

El porcentaje óptimo de ceniza y cemento, mejorará la durabilidad en adobes ecológicos prensados, Trujillo 2019.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El diseño de la investigación es experimental bifactorial; porque se utiliza la aplicación práctica mediante ensayos o procesos y éstos pueden ser encontrados en el método científico. Los ensayos pueden ser llevados a cabo en el laboratorio o fuera de él en el cual su desarrollo será netamente práctico, la matriz de operalización de variables en la tabla N°9.

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

La presente investigación aplicó un muestreo probabilístico, porque cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de pertenecer a la muestra. Este tipo de muestreo origina mejores estimaciones de los parámetros, permite determinar matemáticamente el tamaño de la muestra, con cierto nivel de exactitud. Se utilizarán 50 adobes prensados y estabilizados con suelo de la campiña de Moche, ceniza de trupal, agua potable de la zona de Trujillo y cemento tipo I de marca Pacasmayo de 42.5 kg, con medidas 9 cm de altura x 13 cm de ancho x 20 cm de largo, para cada ensayo se trabajó de forma aleatoria.

Ecuación 1 : Tamaño de la muestra

$$n_0 = (Z^2 S^2) / E^2$$

Z = es el valor de la distribución normal estandarizada para un nivel de confianza fijado por el investigador.

Z=95% confiabilidad = 1.96, debido a que los especímenes elaborados son elaborados con materiales donde sus pesos serán constantes.

S = Desviación estándar de la variable fundamental del estudio o de interés para el investigador.

E = % del estimador o en valor absoluto (unidades).



“S” y “E” = Datos obtenidos de Reyna (2019), en su tesis “Influencia de la ceniza y cemento en el adobe para muro de mampostería sobre la compresión y durabilidad. Trujillo”.

$n_0$  = Tamaño de muestra

$$n_0 = \left( \frac{1.96}{5} \right)^2 \left( \frac{595.90}{5} \right)^2 / 545.16$$

$n_0 = 4.58 = 5$  especímenes

**Tabla 1:** Variables de estudio de investigación

Variables Independientes					
Factores de estudio			Niveles de estudio		
Porcentaje de Cemento			9 12		
Porcentaje de Ceniza			5 10 15 20 25		
Variables dependientes					
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )					
Durabilidad (%)					

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2:** Matriz de diseño de variables

A: Porcentaje de cemento											
a1 a2											
a11 a12 a13 a14 a15 a21 a22 a23 a24 A25											
B: Porcentaje de ceniza	b	a11b1	a12b	a13b	a14b	a15b	a21b1	a22b1	a23b1	a24b	a25b
	1		1	1	1	1				1	1
	b	a11b2	a12b	a13b	a14b	a15b	a21b2	a22b2	a23b2	a24b	a25b
	2		2	2	2	2				2	2
	b	a11b3	a12b	a13b	a14b	a15b	a21b3	a22b3	a23b3	a24b	a25b
	3		3	3	3	3				3	3
	b	a11b4	a12b	a13b	a14b	a15b	a21b4	a22b4	a23b4	a24b	a25b
	4		4	4	4	4				4	4
	b	a11b5	a12b	a13b	a14b	a15b	a21b5	a22b5	a23b5	a24b	a25b
	5		5	5	5	5				5	5
Resistencia la compresión											
Durabilidad											

Fuente: Elaboración propia

### Matriz de Diseño

Factor A= Cemento

a1= cemento 9% y

a2= cemento 12%

Factor B= Porcentaje de ceniza proveniente de la fábrica trupal

b1=5%, b2=10%, b3=15%, b4=20%, b5=25%

### **Resistencia a compresión (kg/cm<sup>2</sup>)**

N° de muestras= (V. Dependiente.) x (V. Independiente. x N° de niveles) (V. independiente x N° replicas)

N° de muestras= (1) x (1 x 5) (1 x 2) x5 = 50 muestras

### **Durabilidad (%)**

N° de muestras= (V. Dependiente.) x (V. Independiente. x N° de niveles) (V. independiente x N° replicas)

N° de muestras= (1) x (1 x 5) (1 x 2) x5 = 50 muestras

Se realizaron 100 adobes prensados de 9 cm de alto x 13 cm de ancho x 20 cm de largo, con un tipo de suelo y adicionando porcentajes de ceniza de la fábrica de Trupal y 2 porcentajes de cemento 9% y 12% respectivamente para la prueba de compresión y durabilidad.

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

Para la técnica de recolección de datos se empleará la OBSERVACION, porque se busca ver, analizar y ensayar en el Laboratorio de la Universidad Privada del Norte y laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Trujillo.

El instrumento que se usará para poder recoger y registrar los datos de la investigación, será mediante hoja de observación, la cual sirve para describir todo lo observado en cada ensayo realizado para cada propiedad tanto física, como mecánica. Ver anexo N°9.

Para ellos se usó las pruebas de Normalidad, de Hipótesis de Análisis de Varianza a través del metodo de confiabilidad al 95%.

### **Análisis de Varianza:**

#### **A. Prueba de Fisher**

Los resultados obtenidos durante los ensayos a los morteros consolidados, se analizarán para rechazar o corroborar la hipótesis planteada mediante un análisis de varianza con el ANAVA

- Hipótesis Alterna
- Hipótesis Nula

#### **Datos Previos:**

##### **A.1 Grados de libertad**

- Grados de libertad de las variable (A)  
 $G.L. = a - 1$
- Grados de libertad de la variable proporciones (B):  
 $G.L. = b - 1$
- Grados de libertad de las variables (A) x (B)  
 $G.L. = (a - 1) \times (b - 1)$
- Grados de libertad del error.

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

Dónde:

a = número de niveles de la variable (A).

b = número de niveles de la variable (B).

r = número de réplicas

### A.3 Criterio de rechazo

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F_0 > F_{\alpha, (n-1), (nx(r-1))}$

- $F_0$  se obtiene experimentalmente.
- $F_{\alpha, (n-1), (nx(r-1))}$  se obtiene mediante tablas estadísticas.

Dónde:

n = número de niveles.

r = número de réplicas.

### A.4 Análisis de varianza de F de Fisher

#### I. Suma de cuadrados

Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

Suma de cuadrados para el factor B.

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

Suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{r} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

Suma de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

Suma de cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

## II. Media de cuadrados

Media de cuadrados para el factor A

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

Media de cuadrados para el factor B

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

Media de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

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

Media de cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(axb)x(r-1)}$$

### III. 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> (A x B)

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

### A.5 Análisis de Confiabilidad

#### Regla de decisión.

F.experimental > F.teórico

Fisher =  $\delta$

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

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

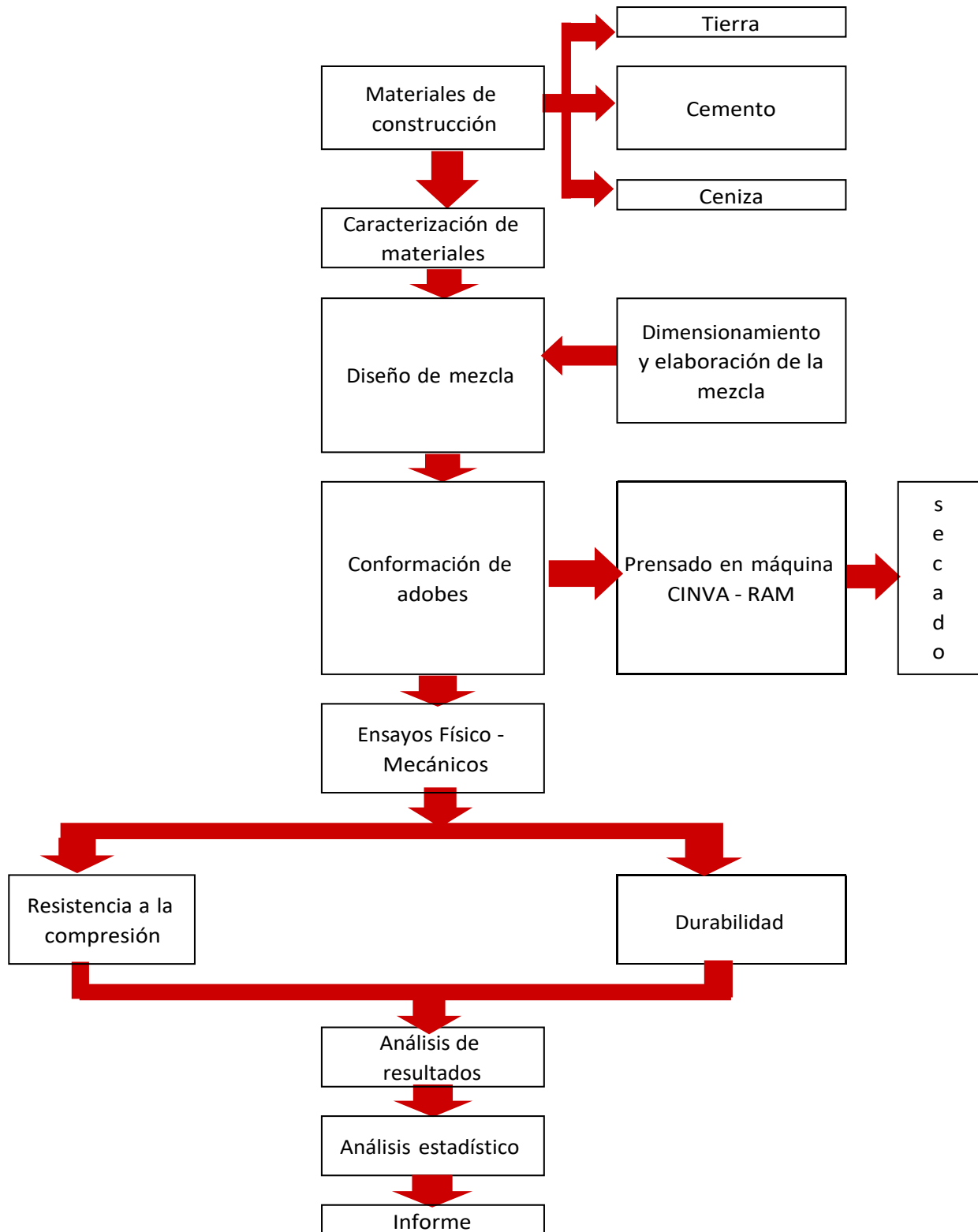
Datos Previos.

$H_1$ : Hipótesis alterna

$H_0$ : Hipótesis nula

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

## 2.4. Procedimiento



**Figura 4:** *Proceso experimental de desarrollo de la investigación*



## A. Materiales de construcción:

### Tierra:

- Se partió en busca de tierra que contenga arenas y arcilla y que a su vez tenga trabajabilidad para la elaboración de los adobes, y por sugerencia del asesor y de la tesis antecedente de Nureña (2017), se optó por utilizar el suelo de tonalidad amarilla de Moche, de zona aledaña a la campiña de estos (10 sacos de tierra). Mostrado en la Figura N°20.

**Figura 5:** Ubicación del lugar de extracción de la tierra



Fuente: Google Maps, 2019

### Cemento:

- El cemento de la marca Pacasmayo Tipo I, se obtuvo de Maestro ubicado en la ciudad de Trujillo, Av. América Sur 1451. Se compró una bolsa de 42.5 kg.
- Se utilizó de tipo I, por consecuencia a investigaciones antecedentes, en la cual se obtuvo buenos resultados, tales como la investigación de Nureña (2017) y Reyna (2018).

### **Ceniza:**

- La ceniza de caña de azúcar se obtuvo de la empresa trupal, la cual genera estos cúmulos de ceniza y los deja a la intemperie, la cual por solicitud se accedió a 50 kg de ceniza destinado a un almacén de la universidad nacional de trujillo. Ver figura N°19.

**Figura 6:** *Proceso de recolección de ceniza*



**Figura 7:** *Proceso de recolección de ceniza*



### **Agua:**

- Se utilizó agua potable de la Universidad Nacional de Trujillo.

## **B. Caracterización**

Se detallará cada uno de los ensayos realizados a los agregados, de acuerdo a las normas estipuladas que se detallan en la tabla N°12.

**Tabla 3:** Normas para ensayos de caracterización de la tierra

	MTC	NTP
Análisis granulométrico por tamizado	E 107	339.128
Contenido de humedad	E108	339.127
Densidad aparente y absorción (NTP 400.022/ASTM C128)	C128	400.022
Límites de Atterberg		339.129
Límite Líquido	E 110	339.129
Límite plástico e índice de plasticidad	E 111	339.129
Clasificación SUCS		339.134
Peso Unitario	ASTM C-29	
Evaluación química del agregado		400.042
Evaluación química del agua		339.088
Materia orgánica	E118	
Proctor modificado	E 115	339.141

Fuente: Elaboración propia

### B.1 Análisis granulométrico

Este ensayo sirve para determinar la textura del suelo, % Arena gruesa, % Arena media, % Arena fina, % Limo – arcilloso y módulo de Finura (MF). Este ensayo se realizó para el suelo de la campiña de moche.

Se tomó 500 g de muestra para realizar el lavado por la malla #200 en agua corriente, el lavado finaliza cuando el agua que pasa la malla se torna transparente. Sin desperdiciar la muestra se retiró de la malla y se colocó en un recipiente de metal a una estufa a temperatura de  $110 \pm 5$  °C, por un intervalo de tiempo de 24 horas. Se extrajo la muestra de la estufa y se pesó en una balanza electrónica ( $\pm 0.01$  g), luego se colocará el juego de tamices en orden progresivo, de acuerdo a la siguiente tabla N°13, indicada en la norma.

**Tabla 4:** Serie de tamices MTC E 107

Tamiz	Abertura (mm)
N° 4	4.76
N° 8	2.36
N° 16	1.10
N° 30	0.59

N° 50	0.30
N° 100	0.15
N° 200	0.075

Fuente: MTC E 107, 2014

Se tamizo girando 5° por un tiempo de 10 minutos. Ver tabla N°13

**Tabla 5:** Esquema del análisis granulométrico del suelo

N° Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso tamiz + muestra (g)	Peso retenido (g)	Peso retenido (%)	% Acumulado	
						Retenido	Pasante
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
N°4	4.750						
N°8	2.360						
N°16	1.180						
N°40	0.600						
N°50	0.300						
N°100	0.150						
N°200	0.075						
Fondo	< 0,075						

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, los datos se registraron en la tabla N°14, siguiendo los cálculos empleando las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 1 :** Módulo de finura

$$M.F = \frac{(\sum \% \text{ retenido acumulado en los tamices } N^{\circ} 4, 8, 16, 30, 50, 100)}{100}$$

Asimismo, para el cálculo del % Retenido, % Retenido acumulado y % Que pasa, se utilizan las siguientes fórmulas:

**Ecuación 2 :** Porcentaje retenido

$$\% \text{ Retenido} = \frac{P. \text{retenido}}{P. \text{sumatoria}} \times 100$$

**Ecuación 3 :** Porcentaje retenido acumulado

$$\% \text{Ret. acum.} = [\sum \% \text{ Ret.}] + \text{anterior}$$

**Ecuación 4 :** *Porcentaje que pasa*

$$\% \text{ Que pasa} = [100 - \% \text{Ret. acum.}]$$

**Tabla 6:** *Rango para el módulo de finura ASTM C 136*

Agregado fino	Módulo de finura
Arena fina	0.5 - 1.5
Arena media	1.5 - 2.3
Arena gruesa	2.3 - 3.1

Fuente: ASTM C 136,2012

## **B.2 Contenido de humedad (MTC E 108)**

Se tomó la muestra tal cual al estado en que se obtuvo, se tomaron los pesos, teniendo en cuenta lo siguiente: Primero el peso del recipiente, luego el peso del recipiente más muestra húmeda, luego se llevó a la estufa de secado a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  por 24 horas, pasado el tiempo se tomó el peso del recipiente más muestra seca, con ello podemos obtener el peso muestra húmeda (Ph) y seca (Ps).

Luego se calculó el porcentaje de humedad mediante la siguiente formula:

**Ecuación 5 :** *Porcentaje de humedad*

$$\%W = \left[ \frac{Ph - Ps}{Ps} \right] \times 100$$

Dónde:

%W: Porcentaje de humedad

Ph: Peso en estado natural de la muestra.

Ps: Peso seco de la muestra.

**Tabla 7:** Esquema para el porcentaje de humedad

Material	Código	Peso de la tara (g)	Peso de la tara + muestra natural (g)	Peso de la tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g) <b>P<sub>h</sub></b>	Peso de la muestra seca (g) <b>P<sub>s</sub></b>	Humedad (%) <b>W</b>
Muestra	M1						
	M2						
	M3						
Promedio							

Fuente: Elaboración propia

### B.3 Densidad aparente y absorción (NTP 400.022/ASTM C128)

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 del ensayo 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 y así poder eliminar las burbujas y tomar su peso (C).

Finalmente se deposita en una bandeja el material eliminando la mayor parte del agua para llevarlo a la estufa por 24h a una temperatura de 100 ° C. Para así obtener el peso de la muestra seca en el horno (A). Determinando con las siguientes formulas el peso específico y absorción.

**Ecuación 6 :** Densidad seca

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

**Ecuación 7 :** Densidad saturada superficialmente seca

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

**Ecuación 8 :** Densidad aparente

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

**Ecuación 9 :** Porcentaje de absorción

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

Dónde:

M= Peso de la fiola

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)

**Tabla 8:** Esquema de peso específico y absorción

Material	Código	Peso de la muestra seca al horno (g) <b>A</b>	Peso fiola (g) <b>M</b>	Peso de fiola + agua (g) <b>B</b>	Peso de fiola + muestra (S.S.S.) (g) <b>N</b>	Peso de fiola + agua + muestra (S.S.S.) (g) <b>"C"</b>	Peso de la muestra (S.S.S.) (g) <b>S=N-M</b>	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad (S.S.S.) (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)
Muestra	M1										
	M2										
	M3										
Promedio											

Fuente: Elaboración propia

## Límites de Atterberg (NTP 339.129 SUELOS)

### B.4 Límite Líquido

El ensayo radicó en colocar el material en la copa de casa grande. Se pulverizó una gran cantidad suficiente de suelo secado al aire para obtener una muestra representativa del material que pasa a través del tamiz N° 40 de alrededor de 250 ± 10 gr. Se verificó la altura de la máquina, la copa Casagrande, que sea exactamente de 1 cm (± 0.1mm) utilizando la cabeza en forma de dado ubicado en el extremo superior del ranurador. Límites de Atterberg. Los 250 gr. se colocaron en el recipiente de porcelana y se le añadió una pequeña cantidad de agua que fue mezclada cuidadosamente obteniendo un color uniforme y una apariencia cremosa; fueron añadidas pequeñas cantidades de agua hasta que se obtuvo una mezcla

homogénea. La mezcla se colocó en la cazuela no llenando hasta el tope, solo su parte frontal; con la ranura se hizo una división al medio de 12.7mm. Luego se manipuló la máquina hasta que esta se cerrara, sacando una pequeña cantidad y contabilizando el número de golpes. Se repitió el proceso hasta obtener muestras dentro del rango de número de golpes entre 10-20, 20-30 y 30-40. A estas muestras se les hizo el procedimiento del contenido de humedad usando las mismas formulas en la tabla N°18.

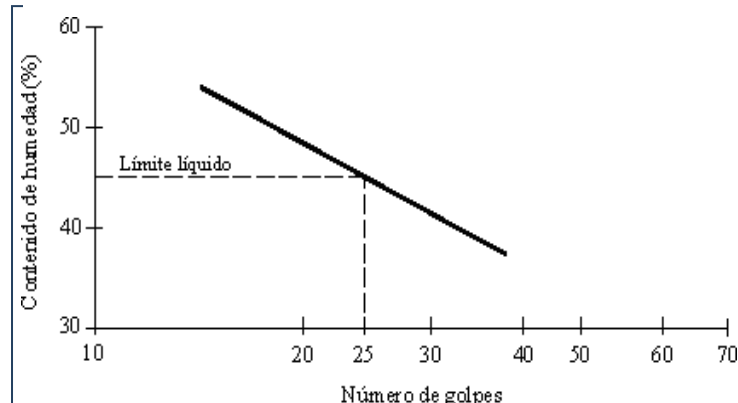
**Tabla 9:** Plantilla de toma de datos del límite líquido

Nº de lata	Peso de suelo húmedo + lata (g)	Peso de suelo seco + lata (gr):	Peso de lata (g)	Peso de suelo seco (g)	Peso de agua (g)	Contenido de Humedad (%)	Nº de golpes
1							
2							
3							

Fuente: Elaboración propia

El límite líquido fue obtenido de la curva de fluidez, contenido de humedad vs número de golpes, cuando el número de golpes fue igual a 25.

**Figura 8:** Curva de fluidez para determinar límite líquido



Fuente: Apuntes de ingeniería civil, 2010.



## B.4 Límite plástico e índice de plasticidad

### Límite Plástico

Al material que fue separado del límite líquido se le añadió pequeñas cantidades de agua. Esta mezcla fue hecha una masa de suelo de forma elipsoidal y se le enrolló repetidamente a mano sobre una placa de vidrio hasta que se lograran pequeños rollitos de 3.2 mm de diámetro donde estos se rompieron en pequeños pedazos. Con estos pedazos se hizo nuevamente una masa y se repitió el procedimiento. Se repitió el procedimiento hasta que el cilindro de suelo se rompió bajo la presión de enrollamiento y no logro permitir que se le enrolle adicionalmente. Se recogieron las muestras y a estas se les hizo el procedimiento del contenido de humedad usando las mismas fórmulas siguiendo el formato de la tabla N°19.

**Tabla 10:** *Plantilla de toma de datos del límite plástico*

Nº de lata	Peso de suelo húmedo + lata (g)	Peso de suelo seco + lata (gr)	Peso de lata (g)	Peso de suelo seco (g)	Peso de agua (g)	Contenido de Humedad (%)	Límite plástico
1							
2							
3							

Fuente: Elaboración propia

### Índice de plasticidad

El índice de plasticidad se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

**Ecuación 10 :** *Índice de plasticidad*

$$IP = LL - LP$$















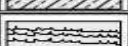
**Tabla 11:** Clasificación del suelo según el I.P

IP (%)	Grado de plasticidad
0 - 3	No plástico
3 - 15	Ligeramente plástico
15 - 30	Baja plasticidad
> 30	Alta plasticidad

Fuente: ASTM D4318, 2012

### B.5 Clasificación SUCS (NTP 339.134 SUELOS)

La clasificación SUCS mostrada en la figura N°24, se realizó siguiendo las pautas establecidas por la norma. Esta clasificación divide los suelos en grano grueso, grano fino y suelos orgánicos. Estos suelos se designan por símbolos de grupo que constan de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres ingleses de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla y suelos orgánicos), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
		SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA BIEN GRADUADA
		GP		GRAVA MAL GRADUADA
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA BIEN GRADUADA
		SP		ARENA MAL GRADUADA
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50)	ML		LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		CL		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
		OL		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50)	MH		LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH		ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Pt		TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS.	

**Figura 9:** Simbología de suelos, clasificación SUCS. RNE E 0.50

### **B.6 Peso Unitario (ASTM C-29)**

Es el coeficiente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas; está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo. La norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas.

### **B.7 Caracterización química**

#### **Evaluación química del agregado (NTP 400.042)**

En este ensayo se determinará si estos agregados cumplen químicamente con los requerimientos mínimos para ser usado según la norma. Para ello se usa vasos de precipitación con capacidad de 250 ml, en una relación de 2:1 (agua destilada: material), esto se realiza 3 réplicas para cada material. Luego se procede a sellarlo con plástico y dejar reposar por un tiempo mínimo de 3 días (72 h). Finalmente se lleva al electrodo para tomar lectura del ph y conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

#### **Evaluación química del agua (NTP 339.088)**

Se realiza el presente ensayo, teniendo en cuenta que para la conductividad y ph la SUNASS (Superintendencia nacional de servicios de saneamiento), indica que el agua potable debe tener una conductividad a 25°C menor a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  o 1500 dS/m y un ph entre 6.5 y 8.5. Se coloca 3 vasos de precipitación con 150 ml de agua destilada y otros 3 recipientes con 150 ml de agua potable. Luego se procede a

sellarlo con plástico y dejar reposar por un tiempo mínimo de 3 días (72 h).

Finalmente se lleva al electrodo para tomar lectura del pH y conductividad (dS/m).

**Tabla 12:** *Esquema de composición química de materiales.*

Material	Código	pH	Conductividad (dS/m)

Fuente: Elaboración propia

### B.8 Materia orgánica

La muestra se colocará en un recipiente y se pondrá a secar en el horno a  $110 \pm 5$  °C por 24 horas, se retirará completando el tiempo, se dejará enfriar, después tomar de 10 a 40 g aproximadamente de esta muestra y se colocará en crisoles enumerados y pesados (A), posteriormente los crisoles serán llevados a una mufla de 4 litros con una temperatura máxima de  $1200^{\circ}$  C, se regulará la temperatura a  $445 \pm 10^{\circ}$ C, finalmente se retirará, se dejará enfriar y se tomará el peso con una balanza de aproximación a 0.01 g (B).

*Ecuación 11 : Materia orgánica*

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

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 13:** *Plantilla de toma de datos de materia orgánica*

Muestra	Muestra orgánica %
Suelo tamizada	
Suelo en su estado natural	

Fuente: AASHTO T267

**Tabla 14:** *Clasificación del nivel de materia orgánica.*

Nivel	Materia orgánica (%)
Bajo	Menor a 2
Medio	2 - 4
Alto	Mayor a

Fuente: Elaboración propia

### B.9 Proctor modificado

Se elige entre los métodos A, B o C, los cuales definirán en que molde se realizará el ensayo de Proctor modificado. En suelos se puede elegir el método A, donde especifica que el molde debe ser de 4 pulgadas de diámetro. Ver tabla N°24

**Tabla 15:** *Métodos para ensayo Proctor modificado*

Proctor	Método		
	A	B	C
	20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz	Más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 y 20% o menos de peso del	Más del 20% del peso del material se retiene en el tamiz 3/8" y menos de 30% en peso
N° de	5	5	5
Golpes /	25	25	56
Diámetro del	4"	4"	6"

Fuente: NTP 339.141

Se toma el peso del molde de 4" ( $W_m$ ), este peso será constante para todos los especímenes; al igual que el volumen del molde ( $V_c$ ),  $994 \text{ cm}^3$ . Se tomará aproximadamente 2.5 kg de muestra secada al aire, y se mezclará con agua uniformemente. Se vaciará la muestra en el molde en 5 capas, y se deberá aplicar 25 golpes con un pisón de 10 lbf (44.5N) desde una altura de 18 pulgadas (457 mm)

para cada capa. Se retirará el suelo excedente compactado de la parte superior del molde.

Se enrazará, con ayuda de una regla metálica, limpiará y luego se pesará el molde más muestra compactada ( $W_{m+h}$ ), con una aproximación de 1 g.

Se extraerá una cierta cantidad del núcleo de la muestra y se pesará, se colocará a la estufa para calcular la humedad correspondiente. Se debe preparar al menos

5 porcentajes con contenidos de humedad variables en un rango menor o igual del 4%, con la finalidad de obtener una óptima humedad.

Se determina la densidad seca de los cinco por fórmula. Así como su respectiva humedad (W). Se grafica en escala normal, y se puede hallar mediante una fórmula polinómica, se obtiene el óptimo contenido de humedad (OCH) y la densidad seca máxima.

Cálculos:

*Ecuación 12 : Volumen del cilindro*

$$Yh = \frac{Wm}{Vc}$$

*Ecuación 13 : Densidad seca*

$$Yds = \frac{Yh}{1 + \frac{W\%}{100}}$$

Donde:

Wm: peso de la muestra compactada (g)

Vc: volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

Yh: densidad húmeda

Yds: densidad seca

W; humedad

**Tabla 16:** Toma de datos para Proctor modificado

Peso suelo + molde	gr					
Peso molde	gr					
Peso suelo húmedo compactado	gr					

Volumen del molde	cm <sup>3</sup>				
Peso volumétrico húmedo	gr				
Recipiente N°					
Peso del suelo húmedo+tara	gr				
Peso del suelo seco + tara	gr				
Tara	gr				
Peso de agua	gr				
Peso del suelo seco	gr				
Contenido de agua	%				
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>				

Fuente: Propia

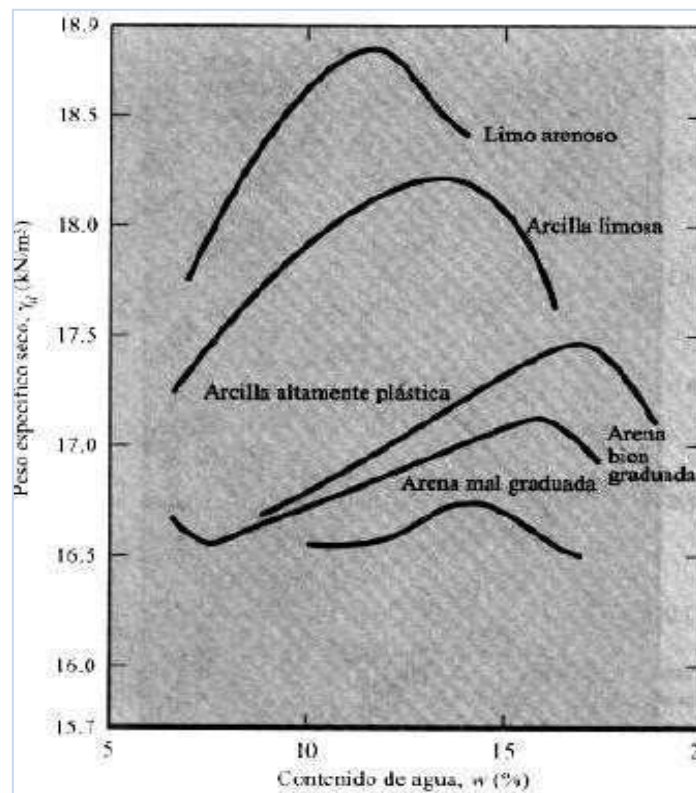


Figura 10: Curvas típicas de compactación Shuan, 2004

## C. Diseño de Mezcla

### C.1 Preparación



- El tipo de suelo a utilizar también se obtuvo como dato preliminar al de Nureña, 2017. El cuál realizo estudios de diferentes tipos de suelos, uno de ellos fue el suelo de moche, en este caso se usó un suelo aledaño obtenido específicamente de la campiña de moche.
- Se transportó el material, 70 kg de suelo de la campiña de moche, específicamente en sacos y baldes al laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte, para realizar la caracterización de dicho material y los ensayos correspondientes.
- También se transportó la tierra, ceniza y cemento al almacén de laboratorio de concreto y reciclado de la Universidad Nacional de Trujillo
- Inicialmente se realiza el tamizado de la tierra, por la malla N°200, mostrado en la figura N°26



**Figura 11:** *Tamizado de tierra originaria de campiña de moche*

- Se realizó este proceso para obtener partículas finas, para la elaboración del adobe prensado.
- Posteriormente la tierra tamizada se guardó en baldes con tapa, para pasar a la dosificación, según el diseño de mezcla.

- La ceniza fue donada por la Fábrica trupal, se extrajo del almacén 100 kg de ceniza, la cual se introdujo al horno por 24 horas para el secado de esta. Debido a que su estado es un poco húmedo para la facilitación del transporte.
- Se realizó el análisis granulométrico de la ceniza, basado en la investigación de Reyna (2019), con la finalidad de obtener datos específicos según este ensayo, la cual es proveniente de la fábrica de trupal.
- El análisis químico de la ceniza, se obtuvo a través del estudio realizado por cementos YURA. S.A., en el año 2015, la cual analizó la ceniza de la fábrica Trupal.
- Después de extraer la ceniza del horno, se realizó el tamizado, esta pasa por un proceso de tamizado por la malla N°200 para obtener partículas finas para la elaboración de estos. Ver figura N°27 y N°28. Es indispensable utilizar guantes, mascarilla e implementos de protección para la manipulación de este material.



**Figura 12:** *Tamizado de ceniza por malla N°200*



**Figura 13:** *Ceniza antes del horno y después de tamizar*

- Luego las cenizas, pasaron a la dosificación para la elaboración del adobe prensado en la máquina CINVA-RAM.
- Para el cemento, se usará el 9% y 12% de la mezcla 3.70kg., considerando desperdicios, para la elaboración de adobes. Estos porcentajes, fueron obtenidos de los valores óptimos basados en los resultados de la investigación de Reyna (2018).
- Se usó cemento pacasmayo tipo I.
- Este material fue guardado en bolsas por 1 kg, para evitar la hidratación de este. Ver figura N°29.



**Figura 14:** *Toma de pesos de materiales para adobe*

## **C.2 Dimensionamiento y elaboración de la mezcla**

- El dimensionamiento de los adobes se obtuvo de la investigación de Llacza (2018), el cual lo obtuvo del promedio de distintos sectores de Trujillo los cuales están dentro del mercado y son los que las personas adquieren, las medidas son de 9 cm x 13 cm x 20 cm (alto, ancho y largo).

- Tomando como referencia la investigación de Nureña (2017) y Reyna (2019) y siguiendo la línea de investigación de los mencionados. Las dosificaciones que realizaron fueron suelos con diferentes porcentajes de cemento los cuales se obtuvieron de las tesis en mención siendo los más óptimos al 9% y 12%: la primera dosificación fue suelo, ceniza con 5%,10%,15%,20% y 25% con adición de 9% cemento; y la segunda dosificación fue suelo, ceniza con 5% ,10% ,15% ,20% y 25% con adición de 12% cemento.
- Se realizó pruebas preliminares para la elaboración de un adobe que se mencionan en la norma E.080\_2017 del RNE.
- Después de realizar el ensayo de contenido de humedad del suelo y proctor modificado, este indica un óptimo porcentaje, el cual se toma como referencia, variando para cada dosificación el porcentaje de agua, además cabe resaltar que a más ceniza, la mezcla es más densa, por consiguiente, se usó más agua.
- La cantidad de ceniza de la quema de la empresa de trupal fue de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%.
- Se procede a realizar el diseño de mezcla para la elaboración de un adobe prensado con ceniza proveniente de la fábrica de trupal y cemento Pacasmayo tipo I, con las dimensiones y porcentajes correspondientes.
- Las mezclas se hicieron usando una cantidad para el conformado del adobe, por cada uno 3.70 kg de suelo incorporado en ello el desperdicio Ver tabla N°26

**Tabla 17:** *Diseño de mezcla de adobes con ceniza y cemento.*

% de cemento	% de ceniza	% de agua	ceniza (kg.)	tierra (kg.)	cemento (kg.)	agua (lts)
<b>9%</b>	5	20	0.185	3.515	0.333	0.740
	10	21	0.370	3.330	0.333	0.777
	15	22	0.555	3.145	0.333	0.814
	20	23	0.740	2.960	0.333	0.851
	25	24	0.925	2.775	0.333	0.888
<b>12%</b>	5	17	0.185	3.515	0.444	0.629
	10	18	0.370	3.330	0.444	0.666
	15	19	0.555	3.145	0.444	0.703
	20	20	0.740	2.960	0.444	0.740
	25	21	0.925	2.775	0.444	0.777

Fuente: Elaboración propia

- Posteriormente, se pesan cada uno de los materiales para elaborar el adobe, según el diseño de mezcla, como se muestra en la figura N°30.



**Figura 15:** *Toma de pesos de materiales para adobe prensado*

- Luego se mezcla toda la materia prima seca hasta obtener un color uniforme, cuando se logra esto se agrega la cantidad de agua, basados por el diseño de mezcla hasta obtener una mezcla homogénea. Mostrado en la figura N°31



**Figura 16:** *Mezcla de materiales: tierra, ceniza y cemento*

#### **D. Conformación de adobes y secado**

- Para la conformación de los adobes ecológicos con ceniza y cemento se utilizó la máquina CINVA-RAM.
- Este procedimiento se realizó en la Universidad Nacional de Trujillo, en el laboratorio de Concreto y reciclado de la Escuela de Ingeniería de Materiales.
- El manejo de esta máquina es destaparla y asegurar que el pistón este hasta abajo, para poder ingresar la cantidad correcta de mezcla.

- Amontonar la cantidad correcta de mezcla dentro de la caja y llenar bien las esquinas para que el adobe terminado tenga esquinas bien prensadas, ir apretando la mezcla en las esquinas con los dedos, cuando esté liso y cubierta toda la caja cerrar la tapa.
- Levantar la palanca a una posición vertical dejando que el rodillo descansa en la tapa, desprender la traba de la palanca, bajarla hasta que quede en posición horizontal en el lado opuesto al rodillo (si se usa la cantidad correcta de mezcla, una persona de peso regular debe ser capaz de mover la palanca hasta abajo por sí solo, con solo dos o tres empujones), la palanca debe ser bajada completamente, de lo contrario el adobe puede ser demasiado grueso y no estar bien compactado. Ver figura N°32.



**Figura 17:** *Conformación de adobes en prensadora CINVA RAM*

- Se levanta la palanca a una posición vertical, se coloca la traba y luego se procede a regresar la palanca a su posición de descanso, para luego destapar la caja, luego se baja la palanca para sacar el adobe, dejando un pequeño lapso de tiempo de 1 minuto aproximadamente para que este seque y luego el adobe se retira con sumo cuidado hasta pesarlo y luego se coloca en el almacén.
- Como dato, es importante que el adobe esté libre de grietas o deforme. Ver figura N°33.



**Figura 18:** *Adobe prensado en máquina CINVA RAM*

- Para el proceso de secado, después de conformado, los especímenes de adobes prensados deben secarse en el aire libre (en sombra), sobre superficies lisas y limpias lo suficientemente confortables para sostenerlos en unas tablas lisas y limpias, lo suficientemente anchas para sostenerlos.
- Si no se cuenta con eso, lo recomendable, en un piso liso para no sufrir deformaciones. Ver figura N°34





**Figura 19:** Almacenamiento de adobes prensados. UNT

#### **D. Ensayo Mecánico**

##### **Resistencia a la compresión:**

Basándose en el Reglamento Nacional de Edificaciones la norma E.080\_2006 y E.080\_2017 de adobes, se realizó el ensayo. Se procedió a medir el área (A) donde se aplicó la carga, con una regla metálica de sensibilidad de 0.1mm. Fueron sometidos a este ensayo las réplicas de los adobes según su porcentaje de sustitución de ceniza e incorporación de cemento.

El procedimiento abarco colocar el espécimen sobre la máquina y se aplicó la fuerza (F) con una velocidad de 0.05, se hizo descender el vástago solidario al cabezal hasta hacer contacto la rótula con la cara del adobe, asegurando también que el eje de la máquina coincida con el eje longitudinal del espécimen.

Los cálculos para hallar la resistencia a la compresión se obtuvieron, dividiendo la carga dada entre el área rectangular de la cara del espécimen, el resultado será en  $\text{kg/cm}^2$ , para luego llenar la tabla, verificando que los resultados estén por encima de los  $10.0 \text{ kg/cm}^2$  como indica la NTE.0.80

*Ecuación 14 : Fórmula de resistencia a la compresión*

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

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)

**Tabla 18:** *Esquema para resistencia a la compresión*

% Cemento	% Ceniza	N° Muestras	Dimensiones (cm)				Promedio	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
			Largo		Ancho		Dimensiones (cm)			
			1	2	1	2	Largo			

Fuente: Elaboración propia

## E. Ensayo físico

### Durabilidad:

Consiste en someter a las probetas secas en un estado de saturación por agua, se tomaron los pesos de cada una de las unidades de adobe en estado seco en una balanza con sensibilidad 0.1 g (Pi), estos especímenes se sumergieron bajo agua por el período de 24 horas, luego se extraen las muestras y se dejan secar al aire libre para ser llevados a la estufa a  $110 \pm 5$  °C por 24 horas para que puedan estar en un estado completamente seco, luego de ser retirado pesar el espécimen (Pf), finalmente hallar la pérdida de volumen del adobe se usa la siguiente fórmula y luego llenar la tabla N°28

*Ecuación 15 : Variación de pérdida de peso*

$$\text{Variación de pérdida de peso} = P_i - P_f$$

*Ecuación 16 : Porcentaje de pérdida de pesos*

$$\% \text{ Pérdida de pesos} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

**Tabla 19:** Toma de datos para la durabilidad

% Muest	Durabilidad % (24 horas)			
	Peso seco (g)			
	Antes de de variación	Después de de sumergir	Variación de pérdida sumergir	Porcentaje de peso
			M1	
			M2	
			M3	
			M4	
			M5	
			Promedio	

## F. Análisis de costos unitarios

Para la estimación de costos de producción de un 1 kg de ceniza proveniente de la fábrica de trupal. Se hizo un análisis de precios unitarios, considerando el proceso de recolección y tamizado de este material.

### F.1 Recolección de la ceniza:

**Tabla 20:** Análisis de costo para recolección de ceniza

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de obra					

<b>Oficial</b>	hh	0.5	0.01	9.31	0.07
<b>Peón</b>	hh	2	0.03	8.43	0.27
					<b>0.344</b>
<b>Materiales</b>					
<b>Ceniza</b>	kg		1	0	<b>0</b>
<b>Herramientas manuales</b>	%MO		3	0.34	0.01
<b>Camioneta</b>	hm	1	0.016	68.78	1.1
					<b>1.11</b>

Fuente: Elaboración propia

## F.2 Tamizado:

**Tabla 21:** Análisis de costos unitarios para tamizado de ceniza

<b>Rendimiento</b>	<b>500</b>	<b>kg/día</b>			<b>Costo Unitario</b>	<b>0.371</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>					<b>0.344</b>	
<b>Oficial</b>	hh	0.50	0.01	9.31	0.07	
<b>Peón</b>	hh	2.00	0.03	8.43	0.27	
<b>Equipos y Herramientas</b>					<b>0.026</b>	
<b>Herramientas manuales</b>	%MO		3%	0.34	0.01	
<b>Tamiza # 200</b>	hm	1.00	0.02	1.00	0.02	

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realizó una sumatoria de los costos obtenidos obteniendo un costo directo de S/1.83 por kilogramo. Considerando sumarle a este costo los gastos generales, utilidad y el impuesto general a las ventas, obteniendo como costo total de S/ 2.48 por kilogramo de producción de ceniza tamizada.

Mostrado en la tabla N°31

**Tabla 22:** *Análisis de costo para 1 kg de ceniza*

<b>Proceso Costo (S/)</b>		
Recolección		1.455
Tamizado		0.371
<b>Costo Directo</b>		<b>1.825</b>
Gastos Generales	10%	0.183
CD		
Utilidad	5% CD	0.091
<b>Sub Total</b>		<b>2.099</b>
IGV	18%	0.378
<b>Costo Total</b>		<b>2.477</b>

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1 Materiales de construcción

#### Caracterización de la materia prima – Tierra, ceniza, cemento:

##### 3.1.1. Contenido de humedad

**Tabla 23:** *Contenido de humedad, suelo de campiña de Moche*

Muestra	Código	Humedad (%) "W"
	M1	5.40
	M2	5.59

<b>Suelo</b>	M3	5.34
<b>Promedio</b>	<b>5.44</b>	

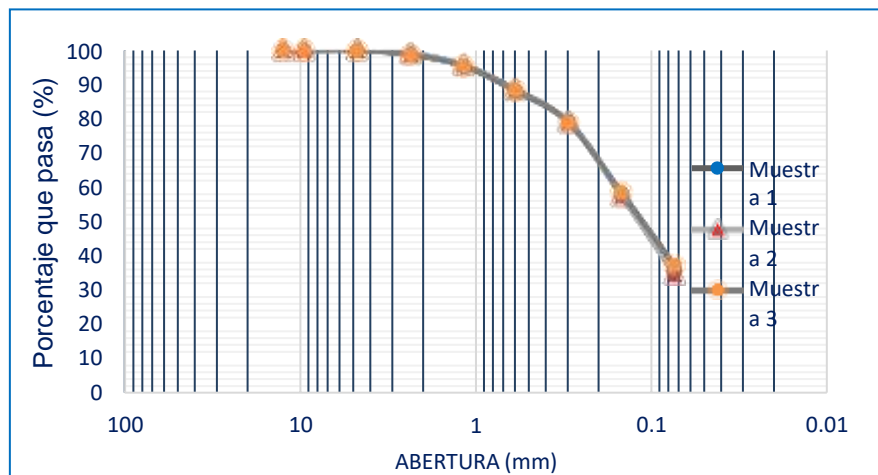
Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2. Análisis granulométrico por tamizado de la tierra

**Tabla 24:** Composición de las muestras de la tierra

Comp. de la Muestra	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
<b>%GRAVA</b>	Grava gruesa : de 80 a 40 mm (de 3" a 1 ½")	0	0	0
	Grava Fina : de 40 a 20 mm (1 ½" a ¾")	0	0	0
	Gravilla : de 20 a 10 mm (¾" a 3/8")	0	0	0
	Grava arena : de 10 a 5 mm (3/8" a N° 4)	0	0	0
<b>%ARENA</b>	Grano grueso : de 5 a 2 mm (N° 4 a N° 10)	1	65	1
	Grano medio : de 2 a 0,50 mm ( N° 10 a N° 40)	11	11	10
	Grano fino : de 0,50 a 0,080 ( N° 40 a N° 200)	53	54	51
<b>%FINO</b>	Limo - arcilloso:	35	35	34
Total	100	100	100	

Fuente: Elaboración propia



**Figura 20:** Curvas granulométricas de la tierra de campiña de moche

### 3.1.3. Peso específico y porcentaje de absorción de la tierra

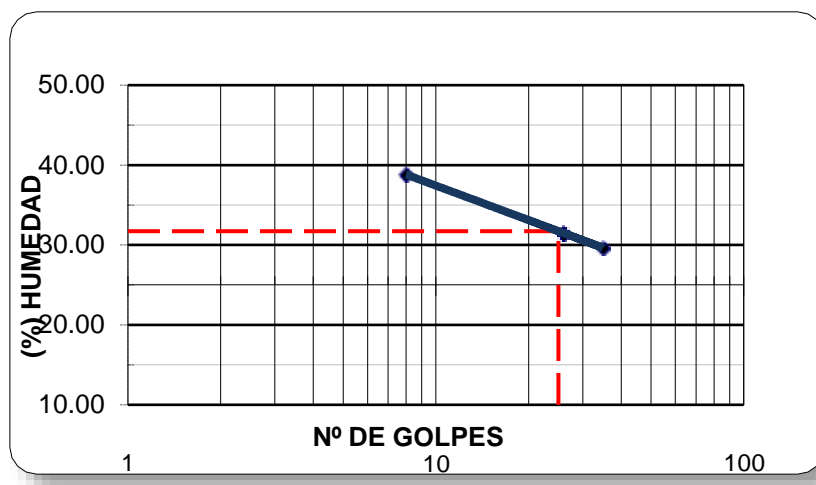
En cuanto al peso específico que presento el suelo fue de  $2.75\text{g/cm}^3$ , tal valor se encuentra dentro de lo estipulado por la MTC E 113 que debe estar entre el rango de  $2.5\text{ g/cm}^3 - 2.75\text{g/cm}^3$ .

### 3.1.4. LL, LP, IP, clasificación SUCS y proctor modificado

**Tabla 25:** LL, LP, IP, clasificación SUCS y proctor modificado

Ensayo	Norma	Promedio
<b>Clasificación</b>		
SUCS	(NTP 339.134)	SC
<b>Límites de Atterberg</b>		
Limites Plástico (%)	(MTC E 111)	16
Limites Líquido (%)	(MTC E 110)	31
Índice de Plasticidad	(NTP 339.129)	15
<b>Proctor modificado</b>		
Óptimo contenido de Humedad (%)		13.2
Densidad seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )		1.59

Fuente: Elaboración propia



**Figura 21:** Diagrama de fluidez %de humedad y nro de golpes

### 3.1.5 Conductividad y grado de PH

**Tabla 26:** Ph y conductividad de materias prima

Materia Prima	Ph	conductividad dS/m
Agua Potable	7	1.430
Agua destilada	8	0.028
Tierra	9	0.752

### 3.1.6 Composición química de cenizas de trupal



**Tabla 27:** Composición química de cenizas de Trupal

Composición química de las cenizas volantes de Trupal S.A.		
COMPONENTE / PROPIEDAD	%	EN
	ESO	
SiO <sub>2</sub>		44.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		27.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1.63
CaO		0.63
MgO		0.59
SO <sub>3</sub>		0.45
Na <sub>2</sub> O		0.36
K <sub>2</sub> O		1.87
TiO <sub>2</sub>		1.44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.02
MnO		0.08
Pérdidas por fuego		11.82
Humedad ADL (Air-dry loss)		0.6
Humedad residual		0.68
Humedad total		1.28%
Poder calorífico (kcal/kg)		1340.33

Fuente: Reporte de la Unidad Laboratorio de Cementos YURA S.A, 2015

### 3.1.7 Propiedades físicas del cemento tipo I Pacasmayo

**Tabla 28:** Propiedades físicas del cemento tipo I Pacasmayo

Propiedades físicas	Und.	CPSSA	Requisitos NTP 334.009/ASTM C150
Contenido de aire	%	9	Máximo 12
Superficie específica	cm <sup>2</sup> /g.	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	3.1	No específica
Resistencia a compresión			
3 días	Kg/cm <sup>2</sup>	326	Mínimo 122
7 días		394	Mínimo 194
28 días		487	Mínimo 286

Fuente: Cementos Pacasmayo, 2017

### 3.2. Diseño de mezcla

**Tabla 29:** *Diseño de Mezcla de adobe con diferentes % de ceniza y % de cemento*

<b>% de ceniza</b>	<b>% de cemento</b>	<b>% de agua</b>	<b>CENIZA (kg.)</b>	<b>TIERRA (kg.)</b>	<b>CEMENTO (kg.)</b>	<b>AGUA (lts)</b>
<b>9%</b>	5	20	0.185	3.515	0.333	0.740
	10	21	0.370	3.330	0.333	0.777
	15	22	0.555	3.145	0.333	0.814
	20	23	0.740	2.960	0.333	0.851
	25	24	0.925	2.775	0.333	0.888
<b>12%</b>	5	17	0.185	3.515	0.444	0.629
	10	18	0.370	3.330	0.444	0.666
	15	19	0.555	3.145	0.444	0.703
	20	20	0.740	2.960	0.444	0.740
	25	21	0.925	2.775	0.444	0.777

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Ensayos físicos

#### 3.3.1. Durabilidad

**Tabla 30:** Durabilidad de adobes prensados al 9% de cemento

24 horas de secado				
Porcentaje de cemento	Porcentaje de ceniza	Muestra	Porcentaje de pérdida de peso (%)	Promedio (%)
9%	5%	1	8.41	8.42
		2	8.40	
		3	8.42	
		4	8.43	
		5	8.42	
	10%	1	8.13	8.11
		2	8.11	
		3	8.11	
		4	8.09	
		5	8.10	
	15%	1	8.06	8.06
		2	8.04	
		3	8.05	
		4	8.07	
		5	8.09	
	20%	1	8.86	8.86
		2	8.86	
		3	8.87	
		4	8.85	
		5	8.87	
	25%	1	8.29	8.28
		2	8.29	
		3	8.27	
		4	8.24	
		5	8.30	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 31:** Durabilidad de adobes prensados al 12% de cemento

24 horas de secado				
Porcentaje de cemento	Porcentaje de ceniza	Muestra	Porcentaje de pérdida de peso (%)	Promedio (%)
12%	5%	1	8.67	8.65
		2	8.66	
		3	8.64	
		4	8.65	
		5	8.65	
	10%	1	8.52	8.51
		2	8.49	
		3	8.51	
		4	8.51	
		5	8.51	
	15%	1	8.30	8.32
		2	8.33	
		3	8.33	
		4	8.32	
		5	8.30	
20%	1	8.78	8.78	
	2	8.78		
	3	8.77		
	4	8.76		
	5	8.80		
25%	1	9.23	9.23	
	2	9.23		
	3	9.24		
	4	9.24		
	5	9.23		

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Ensayo mecánico

#### 3.4.1. Resistencia a la compresión

**Tabla 32:** Resistencia a la compresión de adobes prensados a 9% de cemento

Porcentaje de cemento (%)	Porcentaje de ceniza (%)	Muestra	V=0.05			
			RESISTENCIA		FUERZA	PROMEDIO
			Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	KN	kg/cm <sup>2</sup>
9	5	1	7.44	75.33	198.0	77.16
		2	7.61	77.64	202.0	
		3	7.52	76.09	200.0	
		4	7.67	77.61	204.0	
		5	7.82	79.13	208.0	
	10	1	9.12	92.22	243.6	94.27
		2	9.25	93.57	244.1	
		3	9.34	94.57	246.7	
		4	9.54	96.63	254.0	
		5	9.32	94.35	248.0	
	15	1	8.21	83.75	218.5	82.24
		2	8.16	82.54	216.4	
		3	8.19	82.92	217.4	
		4	8.08	81.79	215.0	
		5	7.93	80.21	214.0	
20	1	7.36	75.02	198.6	74.79	
	2	7.28	73.63	195.0		
	3	7.28	73.64	196.0		
	4	7.43	75.18	198.1		
	5	7.55	76.47	201.0		
25	1	7.35	74.39	198.0	72.60	
	2	7.24	73.26	194.0		
	3	7.11	71.96	192.0		
	4	7.01	70.92	185.0		
	5	7.16	72.49	191.0		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 33:** Resistencia a la compresión de adobes prensados a 12% de cemento

Porcentaje de cemento (%)	Porcentaje de ceniza (%)	Muestra	V=0.05			
			RESISTENCIA	FUERZA	PROMEDIO	
			Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	KN	kg/cm <sup>2</sup>
12	5	1	9.85	99.69	264.0	98.64
		2	9.84	99.57	260.4	
		3	9.80	99.17	258.7	
		4	9.51	96.21	251.0	
		5	9.74	98.54	259.0	
	10	1	10.70	108.34	299.0	110.01
		2	10.57	107.00	286.1	
		3	10.97	111.06	290.4	
		4	10.94	110.76	294.8	
		5	11.16	112.90	300.5	
	15	1	9.42	95.36	250.0	96.94
		2	9.42	95.38	250.7	
		3	9.41	95.28	247.9	
		4	9.76	98.78	257.0	
		5	9.80	99.90	259.8	
	20	1	8.11	82.03	214.0	82.37
		2	8.18	82.79	218.7	
		3	8.13	82.31	215.8	
		4	8.09	81.94	217.0	
		5	8.18	82.80	216.0	
	25	1	7.72	78.15	208.0	78.38
		2	7.82	79.11	207.4	
		3	7.68	77.74	206.9	
		4	7.69	77.81	204.0	
		5	7.82	79.10	210.0	

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Evaluación económica

#### 3.5.1 Precio de adobe artesanal y estabilizado

**Tabla 34:** Precio de adobe artesanal tradicional por zona, 2019

Zona	Material	Precio por unidad	Precio por millar
		(S/.)	
Moche	Adobe artesanal	0.35	350
	Ladrillo artesanal	0.50	500

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 35:** Precio de adobe estabilizado con cemento

% Cemento	Peso (kg)		Precio por unidad (S/.)			Precio por millar (S/.)
	Adobe	Cemento	Cemento	Adobe	Adobe estabilizado	Adobe estabilizado
3	4.5	0.135	0.06	0.16	0.22	220
6	4.5	0.270	0.12	0.16	0.28	280
<b>9</b>	<b>4.5</b>	<b>0.405</b>	<b>0.18</b>	<b>0.16</b>	<b>0.34</b>	<b>340</b>
<b>12</b>	<b>4.5</b>	<b>0.540</b>	<b>0.24</b>	<b>0.16</b>	<b>0.40</b>	<b>400</b>

Fuente: Nureña, 2017

#### 3.5.2 Costo de adobes prensados

Dato referencial, según Nureña (2017) el costo de cemento de 9% es de 0.18 y de 12% es de S/.0.24 para la elaboración de adobes prensados.

**Tabla 36: Costo de adobe prensado con 25% de ceniza y 9% de cemento**

<b>ADOBE ECOLÓGICO PRENSADO 25% DE CENIZA Y 9% DE CEMENTO</b>					
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>500</b>	<b>UND/DÍA</b>		<b>TOTAL</b>	<b>S/.0.554</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDA</b>	<b>CUADRILL</b>	<b>CANTIDA</b>	<b>PRECI</b>	<b>PARCIA</b>
	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>O</b>	<b>L</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>S/.0.344</b>
Oficial	hh	0.500	0.008	9.310	0.074
Peón	hh	2.000	0.032	8.430	0.270
<b>MATERIALES</b>					<b>S/.0.151</b>
Suelo	Kg.		3.330	0.026	0.087
Ceniza	Kg.		0.000	0.000	0.000
Cemento	Kg.		0.333	0.180	0.060
Agua	lt		0.777	0.006	0.005
<b>EQUIPOS</b>					<b>S/.0.058</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3%	0.344	0.010
PRENSA CINVA - RAM	%MO	1.000	0.016	3.000	0.048

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 37: Costo de adobe prensado con 25% de ceniza y 12% de cemento**

<b>ADOBE ECOLÓGICO PRENSADO 25% DE CENIZA Y 12% DE CEMENTO</b>					
<b>RENDIMIENTO</b>	<b>500</b>	<b>UND/DÍA</b>		<b>TOTAL:</b>	<b>S/.0.600</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CUADRILLA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PARCIAL</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>S/.0.344</b>
Oficial	hh	0.500	0.008	9.310	0.074
Peón	hh	2.000	0.032	8.430	0.270
<b>MATERIALES</b>					<b>S/.0.198</b>
Suelo	Kg.		3.330	0.026	0.087
Ceniza	Kg.		0.000	0.000	0.000
Cemento	Kg.		0.444	0.240	0.107
Agua	lt		0.777	0.006	0.005
<b>EQUIPOS</b>					<b>S/.0.058</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3%	0.344	0.010
PRENSA CINVA - RAM	%MO	1.000	0.016	3.000	0.048



### 3.5.3 Aporte unitario de materiales para un m<sup>2</sup> de muro de sogá

Las dimensiones del adobe prensado: 9 cm x 13 cm x 20 cm. Cálculo de la cantidad de adobes prensados para un m<sup>2</sup> de muro de sogá con junta de 1.50 cm de mortero del mismo material del adobe prensado. Según la investigación de Llacza, (2018), determinó:

Solución:

*Ecuación 17 : Cálculo de unidades de adobe*

$$\text{Cálculo de ladrillos} = \frac{1}{(0.20 + 0.015) \times (0.09 + 0.015)}$$

C.L. = 44 unidades + 5% desperdicios.

C.L. = 46 unidades.

Cálculo de la cantidad de mortero de asentado (m<sup>3</sup>) para un m<sup>2</sup> de muro de sogá con una junta de 1.50 cm de mortero.

$$V_{mo} = (1 \times 1 \times 0.13) \times (46 \times 0.09 \times 0.13 \times 0.23) \text{ m}^3$$

$$V_{mo} = 0.0062 + 5 \% \text{ de desperdicios m}^3$$

$$V_{mo} = 0.0065 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

### 3.5.4 Muro de adobes tradicionales

Se consideró la investigación de Llacza, 2018 para el costo de muro de adobe artesanal y el rendimiento de este.

**Tabla 38: Costo de muro de 1 m<sup>2</sup>, junta de 1.5 cm con adobes artesanal**

<b>1 m<sup>2</sup> de MURO CON JUNTA DE 1.5 cm CON DE ADOBES ARTESANALES</b>					
Rendimiento	8	m <sup>2</sup> /día		TOTAL	S/31.02
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>S/.25.94</b>
Oficial	hh	1.000	1.0667	12.79	13.64
Peón	hh	1.000	1.0667	11.53	12.30
<b>MATERIALES</b>					<b>S/.2.89</b>
Adobre prensado	mll		0.0460	58.74	2.70
Mortero	m <sup>3</sup>		0.0065	29.46	0.19
<b>EQUIPOS</b>					<b>S/.2.19</b>
Herramientas manuales	%MO		3.000	25.94	0.78
Madera tornillo	P <sup>2</sup>		0.403	3.50	1.41

Fuente: Elaboración Propia

### 3.5.5 Precio de muro adobes prensados con ceniza y cemento

**Tabla 39: Muro de adobe prensado con 25% de ceniza y 9% de cemento**

<b>1 m<sup>2</sup> DE MURO CON ADOBE 25% DE CENIZA Y 9% DE CEMENTO</b>					
RENDIMIENTO	8	m <sup>2</sup> /DÍA		TOTAL:	S/.43.777
DESCRIPCION	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>S/.17.740</b>
Oficial	hh	1.000	1.000	9.310	9.310
Peón	hh	0.500	1.000	8.430	8.430
<b>MATERIALES</b>					<b>S/.25.504</b>
Adobre prensado	und		46.000	0.550	25.300
Mortero	m <sup>3</sup>		0.007	31.460	0.204
<b>EQUIPOS</b>					<b>S/.0.532</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3%	17.740	0.532

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 40:** Muro de adobe prensado con 25% de ceniza y 12% de cemento

1 M2 DE MURO CON ADOBE 10% DE CENIZA Y 12% DE CEMENTO					
RENDIMIENTO	8	M2/DÍ		TOTAL	S/.46.077
		A		:	
DESCRIPCION	UNID AD	CUADRIL LA	CANTID AD	PRECI O	PARC IAL
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>S/.17.740</b>
OFICIAL	hh	1.000	1.000	9.310	9.310
PEÓN	hh	0.500	1.000	8.430	8.430
<b>MATERIALES</b>					<b>S/.27.804</b>
Adobe prensado	und		46.000	0.600	27.600
Mortero	m3		0.007	31.460	0.204
<b>EQUIPOS</b>					<b>S/.0.532</b>
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3%	17.740	0.532

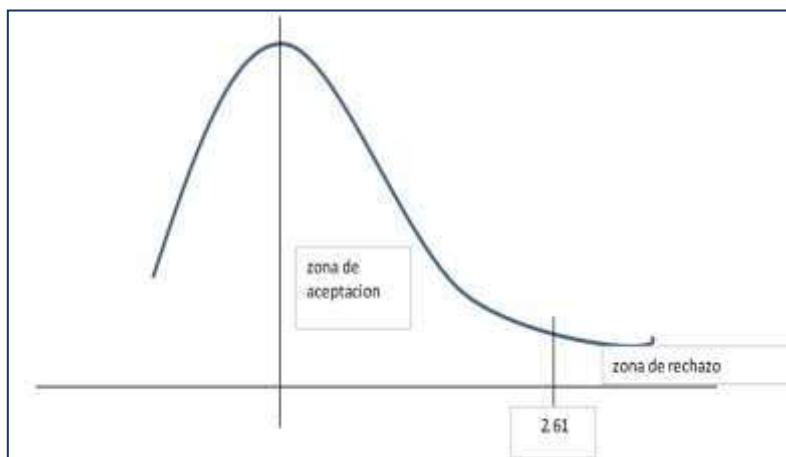
Fuente: Elaboración Propia

### 3.6 Evaluación estadística

**Tabla 41:** Resumen del analisis ANAVA del ensayo de resistencia a la compresión

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F <sub>o</sub> (observado)	F <sub>TABULAR</sub>
A	4.00	4396.93	1099.23	481.77	2.61
B	1.00	2130.87	2130.87	933.90	4.08
A x B	4.00	409.27	102.32	44.84	2.61
Error	40.00	91.27	2.28		
Total	49.00	7028.34	3334.70		

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 22:**  $F_o$  teórico, zona de aceptación y rechazo

**Tabla 42:** Resumen del analisis ANAVA del ensayo de durabilidad

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	$F_o$ (observado)	$F_{TABULAR}$
<b>A</b>	4	3.00	0.75	3593.46	2.61
<b>B</b>	1	1.56	1.56	7444.25	4.08
<b>A x B</b>	4	1.45	0.36	1733.89	2.61
<b>Error</b>	40	0.0	0.00		
<b>Total</b>	49	6.02	2.67		

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

El fin de la investigación es evaluar el porcentaje de ceniza y cemento tipo

I en adobes ecológicos prensados sobre la compresión y durabilidad.

#### 4.1.1 Materiales de construcción

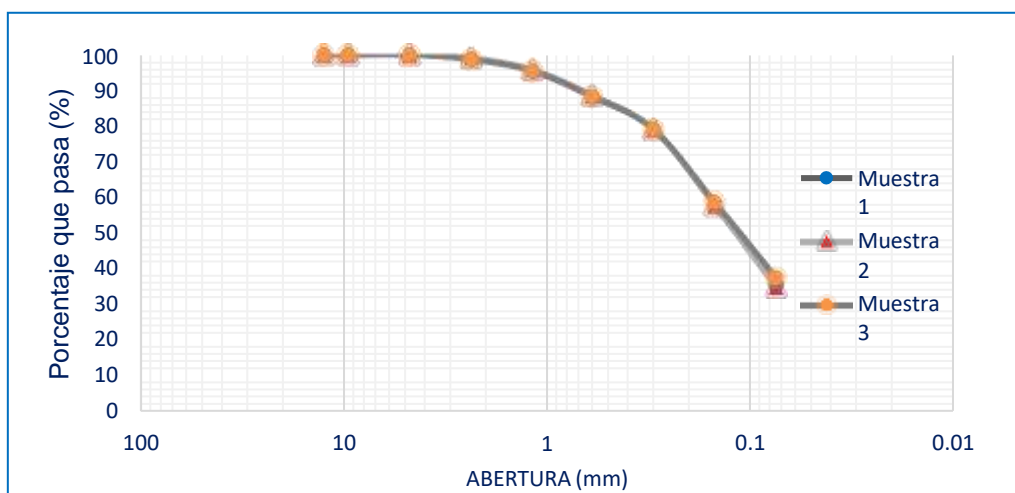
##### Suelo: Tierra de campiña de Moche

##### **Contenido de Humedad**

Después del ensayo de humedad en 3 tipos de muestras, el suelo de la campiña de moche presenta un porcentaje promedio de humedad de 5.44%, este indicador es la cantidad de agua que presenta el suelo en su estado natural.

##### **Análisis granulométrico por tamizado de la tierra**

Este ensayo, permite ver la distribución de las partículas de la tierra, que influye con la cantidad de vacíos en su interior, puesto que en caso estas partículas presenten un mismo tamaño no habría un buen acomodo de la misma. Como se observa la figura N°38, se muestra una aceptable granulometría porque cumple con los usos granulométricos que estipula la norma ASTM C33, en donde las abscisas representan la abertura del tamiz en (mm) y las ordenadas, el porcentaje acumulado que pasa en cada tamiz, presenta fracciones de todos los tamaños de granos.



**Figura 23:** Curvas granulométricas de la tierra de campiña de moche

### **Peso específico y porcentaje de absorción de la tierra**

En cuanto al peso específico de los sólidos que presento el suelo fue de  $2.75\text{g/cm}^3$ , tal valor se encuentra dentro de lo estipulado por la MTC E 113 que debe estar entre el rango de  $2.5\text{ g/cm}^3 - 2.75\text{g/cm}^3$ .

### **LL, LP, IP, clasificación SUCS y Proctor modificado**

Se clasificó los suelos mediante el método de clasificación unificada de suelos (SUCS). El adobe de tierra de la campiña de Moche clasifica como un suelo “SC”, quiere decir un suelo arena arcillosa. Haciendo el análisis de la plasticidad, el suelo

de la campiña de Moche presenta un límite líquido de 31.72%, límite plástico de 16.08% e índice de plasticidad de 15.64, indica un suelo de mediana plasticidad.

Según Barrios, Álvarez, Arcos, Marchant y Rosi (1987) y Guinea (1987) sostienen que: para una mezcla de adobe se requiere utilizar suelos con bajo índice de plasticidad, porque a más índice de plasticidad, mayor será la cantidad de agua contenida en la masa que lo convierte en moldeable y una vez seco, se tendrán mayores retracciones, por cuanto evaporará un volumen mayor de agua.

Por otro lado, Tejada (1993) afirma un suelo específico para la elaboración de adobes debe presentar un rango 20 – 40 para el Limite Liquido. Y por ultimo, un rango inferior a 20 para Límite Plástico resulta recomendable, a su vez el índice plástico óptimo debe ser menor que 20%. Cuanto más elevado es el IP de la tierra, mayor será su variación volumétrica en presencia de agua (hinchamiento por humedecimiento). Y para el resultado de Proctor modificado, el óptimo contenido de humedad fue 13.2 % y densidad seca máxima 1.59 g/cm<sup>3</sup>.



Figura 24: Proctor modificado.

### **Caracterización de materiales: Ceniza de fábrica trupal**

Para determinar el tipo de ceniza según su clasificación la norma americana ASTM C 618 y la norma peruana NTP334.104 adopta exactamente la misma clasificación. Según la investigación de Farro, N., Reyes, W., Diaz, J. y Mendoza J., 2015: se determinó a la ceniza de la empresa Trupal S.A. dedicada a la fabricación de papeles y cartones a partir de bagazo triturado de caña de azúcar. Es de **clase F**, la cual es de tipo volante normalmente producida de la calcinación del carbón antracito, clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas a través del reporte de la unidad de laboratorio de cementos Yura S.A. en el año 2015.

### **Caracterización de materiales – Cemento tipo I Pacasmayo:**

Para obtener mayor Resistencia y durabilidad se optó por utilizar cemento tipo I Pacasmayo, tomando como antecedente la tesis de Reyna, 2019.

Este cemento como es de uso general en construcciones no contiene adiciones, proporciona altas resistencias a edades tempranas lo cual ayuda en la dosificación del adobe proporcionando una mejor resistencia y un óptimo tiempo de secado. (Reyna, 2019)

Según la NTP 339.009, indica que la resistencia es mayor a lo establecido, por ello presenta mayores resistencias iniciales y moderadas resistencias finales.

Su composición está conformada en su mayoría por la cantidad de Clinker, es así que presenta un contenido mayor de Silicato tricalcico ( $C_3S$ ) entre 40-50% y Aluminio tricalcico ( $C_3A$ ) entre 4-11%, en comparación con los demás cementos.

Los compuestos activos del cemento son inestables, lo que explica que en presencia de agua reorganicen su estructura. Gracias a la hidratación del silicato



tricálcico se produce su endurecimiento inicial formando una sílice gelatinosa e hidróxido de calcio. Adicionar más o menos cemento de lo determinado para cada dosificación generaría problemas, puesto que la composición de cada mezcla se vería alterada.

### **Caracterización de materiales: Agua**

Para que este componente sea apto para un diseño de mezcla para un adobe según la norma E.080 (2017) en el artículo 5, indica que esta debe de cumplir con los requisitos de los materiales para la construcción, por lo tanto, el agua deberá ser potable, libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión, estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de ácidos, sales, aceites álcalis, sustancia que puedan ser dañinas y que si en caso se llegue a utilizar agua de mar solo se debe emplear si se llega a contar con la autorización del ingeniero proyectista o responsable de la supervisión. En esta investigación se utilice agua potable. Según Dirección General de Salud Ambiental indica que, el agua debe estar libre de impurezas y su pH debe estar entre los rangos de 6.5 a 8.5, conductividad < 1500 dS/cm y según el decreto 475 del Ministerio de Salud, indica para que un agua sea potable deberá contener menos de 5000 ppm de sólidos totales suspendidos.

Mediante el equipo multiparámetro HW Kessel se obtuvo la conductividad de 1430 dS/cm, el pH dio un valor de 7. Determinando, que el agua potable utilizada en esta investigación no perjudicará las propiedades evaluadas a los adobes prensados.

#### 4.1.2 Diseño de mezcla

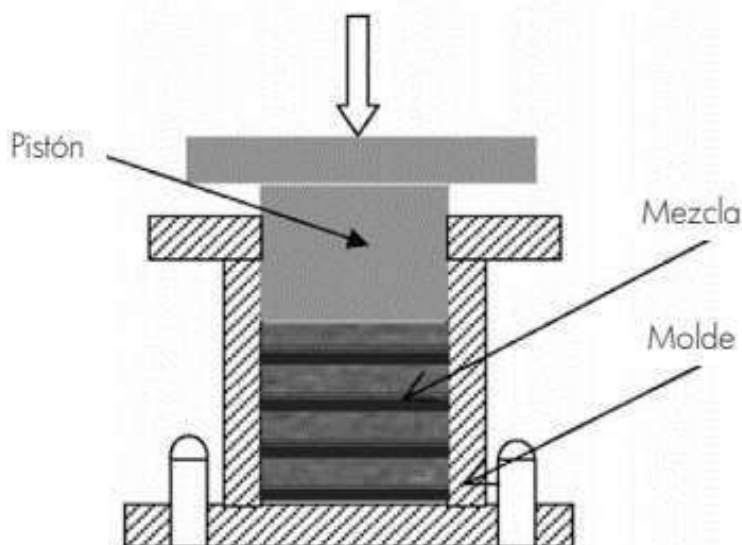
Las dimensiones de este adobe prensado son de 20cm x 13cm x 9cm de largo, ancho y altura respectivamente; estas medidas fueron tomadas como datos de la investigación de Llacza C, 2018. Se tomaron estas dimensiones porque son el básicamente el promedio y adaptación al mercado de este espécimen, sin embargo, cabe aclarar que en el artículo 6 de la norma E.080 (2017), en los criterios de configuración de las edificaciones de tierra reforzada, indica que estas deben cumplir con muros anchos para su mayor resistencia y estabilidad frente al volteo, estipulando que el espesor mínimo de un muro debe ser de 40 cm. Cabe mencionar que uno de los objetivos de esta investigación es obtener una máxima resistencia a compresión, lo cual, si este ensayo llega a sobrepasar los límites establecidos en la norma, se verificará que el espécimen elaborado actúa bien ante este ensayo, cumpliendo con uno de los criterios

de configuración de las edificaciones, una ventaja es que si tiene 20 cm de espesor, vendría a ser una unidad pequeña a comparación de los adobes artesanales, estos ocuparán menos espacio y así se tendrá mayor área. Estableciendo como precedente para futuras investigaciones determinar la estabilidad de un muro con este espécimen elaborado.

Los adobes prensados en la máquina CINVA-RAM mostrado en la figura N°41, están compuestos por suelo – tierra de la campiña de moche escogiendo este, debido a que al estar en contacto con el agua se comporta plásticamente y puede cohesionar al resto de partículas inertes del suelo formando el barro, que al secarse adquiere una resistencia seca que lo convierte en un material constructivo, sumado

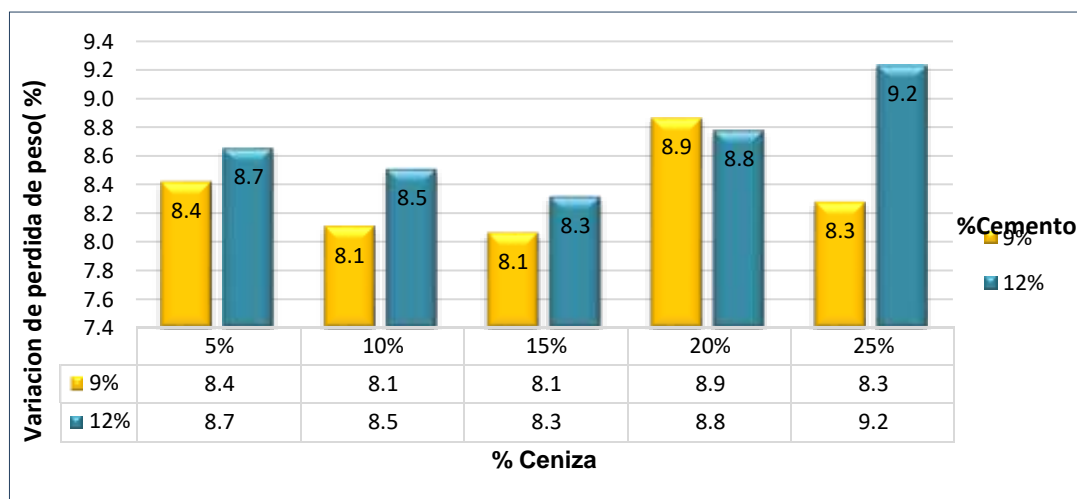
a ello, que por investigaciones investigación del ingeniero Nureña J. (2017), obtuvo que uno de los suelos con resultados óptimos para la elaboración de adobes, fue precisamente el suelo de Moche. También se usó diferentes porcentajes: 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de ceniza y 9% y 12% de cemento respectivamente.

Para hallar el porcentaje de agua optimo se procedió a realizar el ensayo de Proctor modificado con el método A, donde su humedad óptima al 13.20% estableciendo que para el diseño los adobes prensados tendrán como peso 3.7kg para la elaboración de un adobe prensado, adicionando a este peso el agua y el % de ceniza y % de cemento. El tiempo de secado se determinó pesando a diario los adobes prensados, hasta mantener un peso constante, el tiempo de secado fue de 28 días.



**Figura 25:** Mecanismo de compactación de tierra, prensa Cinva – Ram

### 4.1.3 Durabilidad

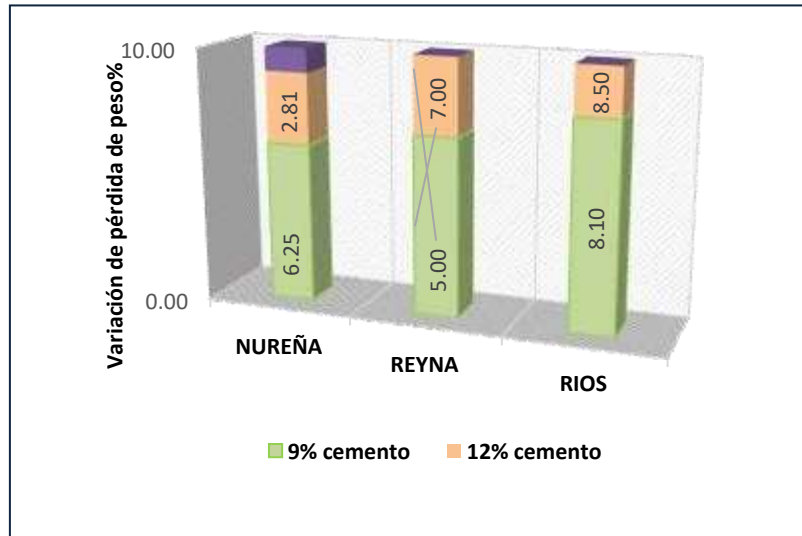


**Figura 26:** Durabilidad de adobes prensados con ceniza y cemento

Los valores que se aprecian en la figura N°41 indican que los adobes con aplicación de ceniza del 10% y 15 % con 9% de cemento respectivamente, arrojan un valor de 8.10% de pérdida de peso. Y a medida que va aumentando el porcentaje de cemento 12% y específicamente a la adición de 25% de ceniza, la concentración la durabilidad incrementa al 9.20%

Concluyendo que la pérdida de peso no es considerable con respecto a su degradación, debido a que en todas las adiciones, tanto como de ceniza y cemento, la durabilidad arroja una pérdida de peso menor al 10% de su peso.

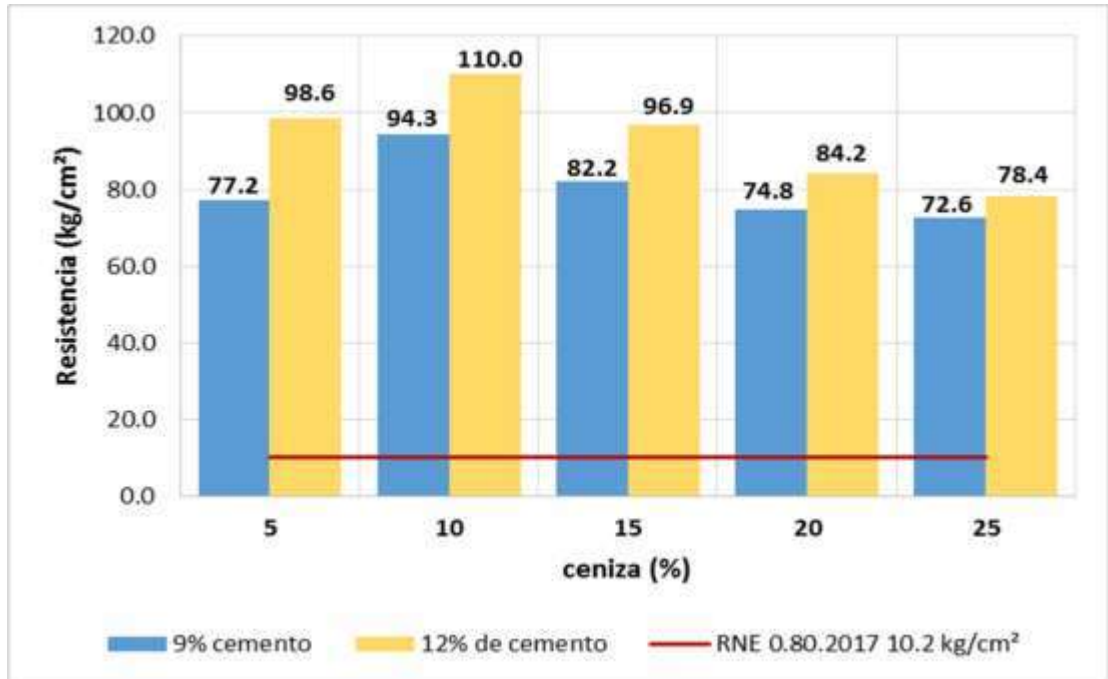
La NTE E 0.80\_2006 y 2017 no especifica algún tipo de procedimientos para este ensayo, por lo cual se tuvo que contrastar investigaciones antecedentes en unidades de adobe. Este ensayo tiene la finalidad de verificar los especímenes son resistentes ante la presencia de agua.



*Figura 27: Comparativa de pérdida de peso en antecedentes*

Los valores que se aprecian en la figura N°42 indican la pérdida de masa en el ensayo de durabilidad, realizando una comparativa en las investigaciones de Nureña, J. (2017) y Reyna, Y. (2018), en la cual utilizaron 9% y 12 % de cemento, continuando los lineamientos de estas. Se usó el mismo porcentaje de cemento, determinando como resultados que: Para 9% de cemento Nureña, J (2017) alcanzó una pérdida de masa de 6.25 %, Reyna, Y. (2018) obtuvo una pérdida del 5% de su peso para 9% de cemento. En esta presente investigación tiene como resultado de un promedio de 8.3 % de pérdida de masa para el ensayo de durabilidad y se obtuvo un promedio de 8.7 % de pérdida para adición de 12% de cemento, considerando que para el ensayo de durabilidad, se sumergieron los adobes después del ensayo de resistencia a compresión, para así identificar y verificar el comportamiento en durabilidad después de la rotura de estos.

#### 4.1.4 Resistencia a la compresión



**Figura 28:** Resistencia a la compresión de adobes con ceniza y cemento

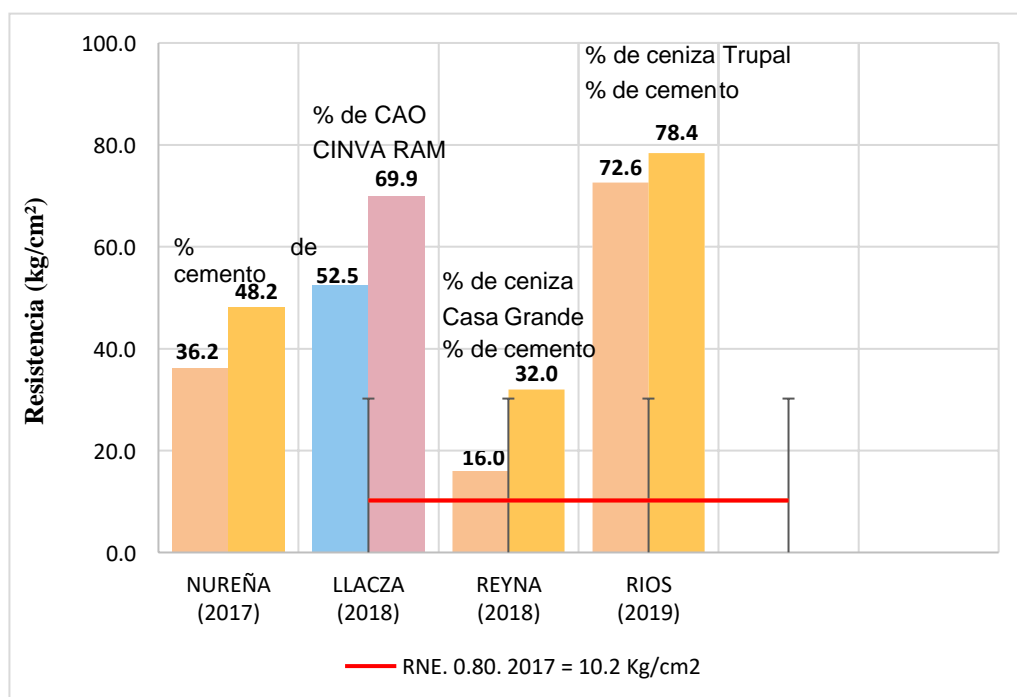
La figura N°43, nos muestra el comportamiento de la proporción de mezcla de ceniza y el porcentaje de 9% y 12% de cemento. Se observa que la mejor resistencia lo tiene la dosificación suelo 90% y ceniza 10% alcanzando la resistencia máxima de 94.30 kg/cm<sup>2</sup> para 9% de cemento y 110 kg/cm<sup>2</sup> para 12% de cemento. Sin embargo, cabe resaltar que todas las adiciones tanto de ceniza como superan los valores de resistencia a la compresión, estipulado en la norma RNE E.080 2006 que indicaba que la resistencia del adobe debería superar los 12 kg/cm<sup>2</sup> y de su modificación RNE E.080 2017 de 10.2kg/cm<sup>2</sup>.

Partiendo desde el punto de vista ecológico y la mayor reutilización del residuo sólido que es la ceniza, se determina como un resultado óptimo a la adición de 25% de ceniza y desde un punto de vista económico, con respecto

al uso de cemento, se escoge la adición de 9% de cemento, el cual esta dosificación alcanza una resistencia de 72.60 kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo con lo requerido en la RNE E.080 2017. Superando las expectativas de esta norma, generando una similitud en función a la de un ladrillo, la cual según la norma RNE E.070 supera los 50 kg/cm<sup>2</sup>.

Al inicio el espacio que existe entre el suelo y la ceniza en relación a cada partícula sólida que es ocupado por agua y vacíos de aire, conforme transcurre el tiempo el cemento reacciona con el agua y los productos de esta fusión comienzan a alojarse sobre los granos y en los espacios que originalmente ocupaban el agua y el aire.

Este proceso crea vínculos entre las partículas a la vez que va estrechando los espacios vacíos, lo cual contribuye a una mejor compactación.



**Figura 29:** Resistencia a la compresión, comparativa según antecedentes

En la figura N°44, se realizó una comparativa de los valores máximos del ensayo de resistencia a la compresión, según antecedentes. En un análisis general, se puede deducir que, al usar cemento y otras adiciones inorgánicas. Como parte de la mezcla, aumenta positivamente las propiedades de resistencia a la compresión.

Basándonos en los antecedentes de Nureña (2017), Reyna (2018) , el cual su muestra de estudios fueron los adobes en adición con porcentajes de cemento, 9% y 12% que se utilizó respectivamente. En la figura N°44, se puede contrastar, que el cemento le da un mayor valor e incremento en sus propiedades en lo que respecta al ensayo de resistencia a compresión. Superando los parámetros establecidos por la Norma RNE E.080 2017 de  $10.2 \text{ kg/cm}^2$

Partiendo de la la investigación de Reyna (2018), se puede apreciar que su porcentaje óptimo fue de  $16.0 \text{ kg/cm}^2$  para 9% en un adobe estabilizado con cemento. Y para esta presente investigación la mezcla de 9% de cemento y 25% de ceniza de la empresa Trupal, alcanzó una resistencia de  $72.6 \text{ kg/cm}^2$  en un adobe prensado en la máquina CINVA-RAM. Los valores de la presente investigación superaron a los de Reyna (2018), debido a que esta herramienta (CINVA RAM), aporta el incremento de esta propiedad mecánica a diferencia de ella, porque se basó en usar moldes tradicionales de madera de compactación para la elaboración de adobes; sin embargo cabe resaltar, que la ceniza usada si incrementa el ensayo de resistencia a compresión; porque al usar 9% de cemento y 5% de adición de ceniza, alcanzó una resistencia óptima de  $32 \text{ kg/cm}^2$  , casi igualando al adobe prensado con cemento de Nureña la cual fue de  $36.20 \text{ kg/cm}^2$ , concluyendo



finalmente que la adición de ceniza a la elaboración de adobes , mejora en definitiva las propiedades de resistencia de dicho material, soportando en gran escala y superando los valores establecidos según la norma E.080. 2017 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

#### **4.1.5 Evaluación económica**

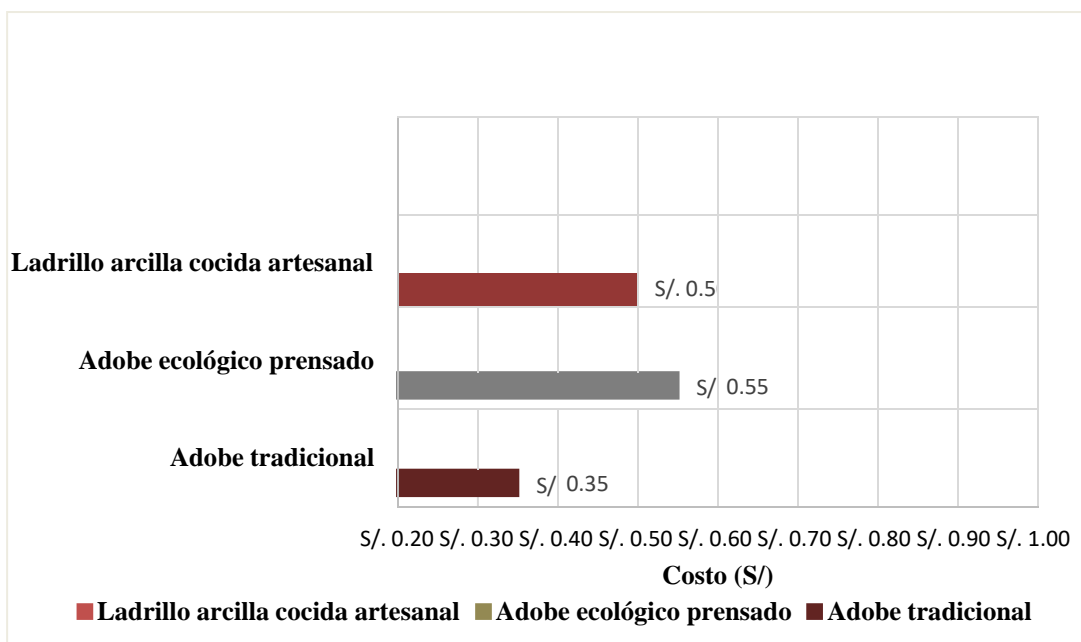
Se logró determinar el costo total de elaboración de ceniza proveniente de la empresa trupal, teniendo un costo de S/2.48 por kilogramo.

Dado que la ceniza es un material excedente de la fábrica de trupal, esta empresa regala el material y tomando en cuenta la contaminación que esta produce, una de las medidas de reducción del impacto hacia el medio ambiente, la ceniza la pueden colocar en obra sin ningún problema, eliminando así el costo de traslado y otros factores, ayudando a la reducción de costos.

Considerando, para la elaboración de adobes tradicionales, generalmente se usa el mismo suelo de la zona aledaña, porque así se viene trabajando desde épocas milenarias, para reducir los costos y así mismo construir viviendas económicas. Tomando en cuenta estas medidas, se realizó otro costo, incluyendo la ceniza y la tierra puesta en obra. Teniendo como costo de S/0.55 por unidad de adobe ecológico con ceniza y cemento prensado.

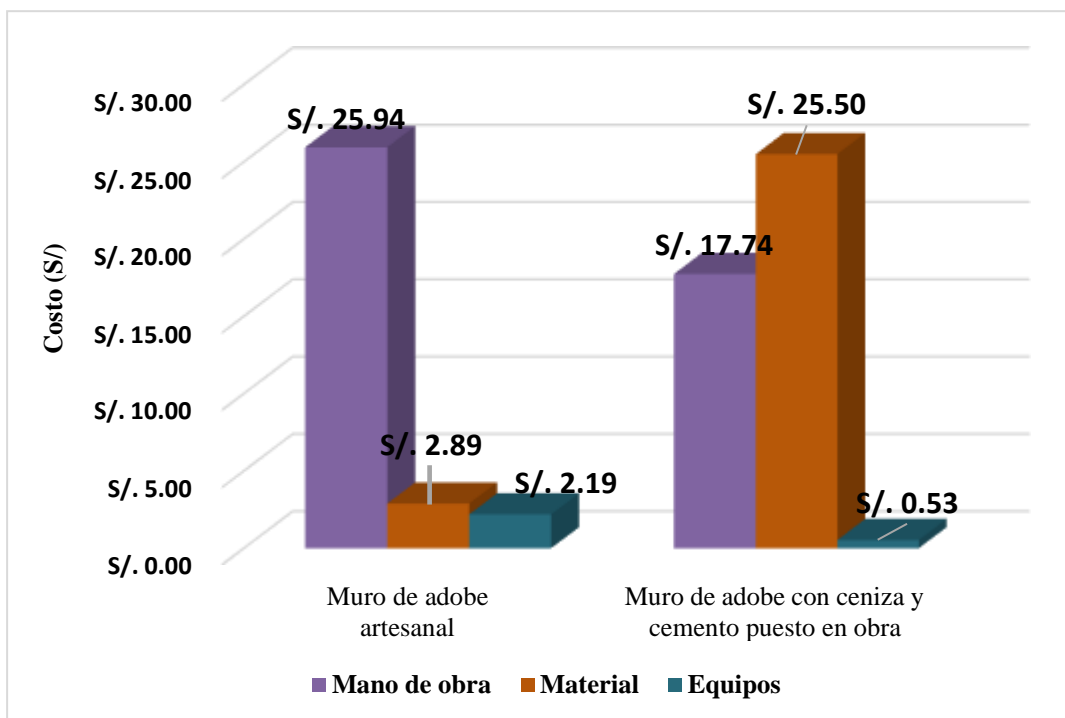
Según datos antecedentes, un adobe artesanal de Moche tiene un costo de S/0.35 por unidad y un ladrillo de arcilla cocida de la misma zona S/0.50.

Se obtiene una diferencia de s/0.20 céntimos a comparación de un adobe artesanal y una diferencia de S/0.05 para un ladrillo de arcilla cocida. Contrastados en la figura N°46.



**Figura 30:** Costo unitario de adobe tradicional, ladrillo de arcilla cocida y adobe

También se elaboraron los costos para el levantamiento de un muro de 1 m<sup>2</sup> con una junta de 1.5 cm empleando un asentado de sogá, para el adobe prensado con 25% de ceniza y 9%, dando como costo de S/43.77 puesto en obra, tomando este último valor a comparar con y S/ 31.02 de adobes artesanales para muro de 1m<sup>2</sup> con junta de 1.5 cm. respectivamente, con una diferencia de S/ 12.75. Representado en la figura N°47.



**Figura 31:** Costo por muro de  $1m^2$ , entre adobe tradicional y adobe prensado

Concluyendo, resulta elaborar un muro de adobe ecológicos prensados con 25% de ceniza y 9 % de cemento tipo I , obtenidos de esta investigación, dado que la diferencia de costos no es exagerada, y hay un conocimiento que este tipo de adobe posee una resistencia elevada a la compresión, superando incluso a la de un ladrillo y con mejor durabilidad.

Desde el punto de vista económico, esta propuesta es interesante e innovadora, ya que existe una contribución a reducir el impacto negativo de desechos de ceniza de la fábrica Trupal, debido a que se reutiliza este residuo como materia prima, el cual mejora propiedades físicas y mecánicas de un adobe prensado, considerando tomar este proyecto para futuros negocios o proyectos en las constructoras por lo que resulta tentativo para futuras propuestas.

#### 4.1.6 Análisis estadístico

En el análisis estadístico se llegó a emplear para la comprobación de datos normales mediante el ANAVA, esta evaluación se realizó para los datos de las variables dependientes (compresión y durabilidad) según las variables independientes

(porcentaje de ceniza y porcentaje de cemento), pueda validar la hipótesis, donde  $F$  experimental de cada variable dependiente fueron mayores al  $F$  teórico, por lo tanto, se aceptaron las hipótesis alternas. Como el  $F$  **EXPERIMENTAL** >  $F$  **TEÓRICO**

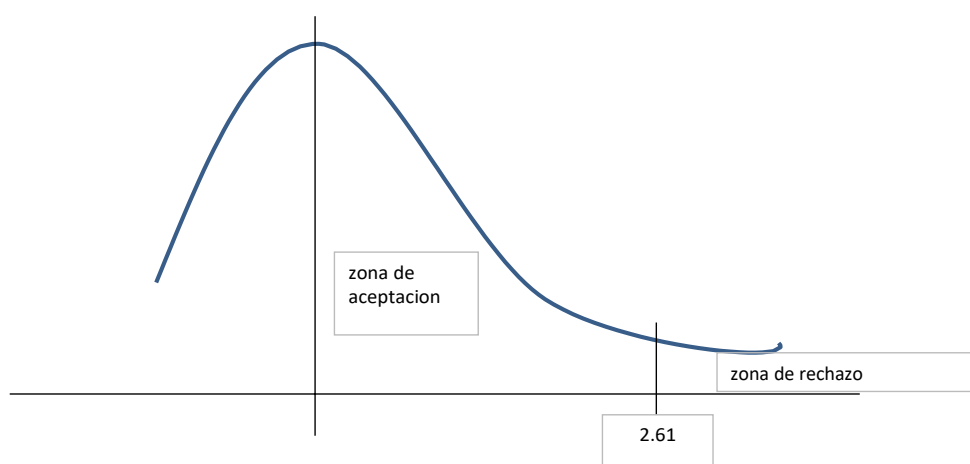
**Se acepta: H1:** Existe relación significativa entre el porcentaje de ceniza y porcentaje de cemento en adobes ecológicos prensados mejorando la compresión y durabilidad, Trujillo 2019.

**Y se rechaza H0:** No existe relación significativa entre el porcentaje de ceniza y porcentaje de cemento en adobes ecológicos prensados mejorando la compresión y durabilidad, Trujillo 2019.

**Tabla 43:** Resumen del análisis ANAVA del ensayo de resistencia a la compresión

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	$F_o$ (observado)	$F_{TABULAR}$
A	4.00	4396.93	1099.23	481.77	2.61
B	1.00	2130.87	2130.87	933.90	4.08
A x B	4.00	409.27	102.32	44.84	2.61
Error	40.00	91.27	2.28		
Total	49.00	7028.34	3334.70		

En la figura N°48 se observa que el  $F_0$  observado ( $F_{AxB}$ ) es mayor que  $F_0$  teórico, Podemos concluir que la cantidad de ceniza y cemento influyen significativamente en la resistencia a la compresión de adobes.



**Figura 32:**  $F_0$  teórico, zona de aceptación y rechazo

**Tabla 44:** Resumen del análisis ANAVA del ensayo de durabilidad

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	$F_0$ (observado)	$F_{TABULAR}$
<b>A</b>	4	3.00	0.75	3593.46	2.61
<b>B</b>	1	1.56	1.56	7444.25	4.08
<b>A x B</b>	4	1.45	0.36	1733.89	2.61
<b>Error</b>	40	0.0	0.00		
<b>Total</b>	49	6.02	2.67		

En la tabla N°53 se observa que  $F_0$  observado ( $F_{AxB}$ ) es mayor que  $F_0$  teórico. Se puede concluir que la cantidad de ceniza y cemento influyen significativamente en la durabilidad de adobes. Mostrado en el resumen del análisis ANAVA del ensayo de durabilidad

## 4.2 Conclusiones

- Se evaluó la influencia del porcentaje de ceniza de la fábrica de trupal y cemento tipo I, sobre la resistencia a compresión y durabilidad en adobes ecológicos prensados, en el año 2019. Concluyendo que la adición de ceniza mejora notablemente a las propiedades físicas y mecánicas de un adobe prensado dando resistencias altas, superando las expectativas, obteniendo una mejor durabilidad y menor pérdida de volumen al ser inmerso en agua. Utilizando el suelo proveniente de la campiña de Moche.
- Se determinó el porcentaje óptimo de ceniza desde el punto de vista ecológico, proveniente de la fábrica Trupal y cemento tipo I, para la elaboración de adobes prensados, el cual fue el de 25% y 9% respectivamente, como resultado a mejor adición.
- Se obtuvo el valor máximo de la resistencia a compresión en un adobe ecológico prensado el cual fue 110 kg/cm<sup>2</sup> para la adición de 10% de ceniza y 12% de cemento.
- Se caracterizó el suelo a partir de los ensayos de granulometría, límite líquido, plástico, peso específico, materia orgánica y Proctor modificado.
- Se contrastó estadísticamente por el método ANAVA, que las variables independientes si influyen en las variables dependientes
- Se realizó el cálculo de dosificación por unidad y costo de aplicación para 1 metro de muro de soga para construcción rural de adobes ecológicos prensados.

## REFERENCIAS

- Aguire C., & Aguilar T. (2006). *Influencia del tipo y porcentaje de material estabilizante, sobre la resistencia a la compresión y densidad en ladrillos ecológicos de construcción*. Trujillo.
- Barrantes, J., & Holguin, R. (2015). *Influencia del porcentaje de remplazo de ceniza volante por cemento, sobre la resistencia a la compresión y absorción en la fabricación de adoquines de tránsito liviano*. Trujillo.
- Benites (2017). *Adobe estabilizado con extracto de cabuya*. Piura.
- Blondet M. (2010). Tunza. Recuperado: <http://tunza.mobi/es/articulos/la-casa-de-ladrillos/> - (enero 2018).
- Calcedo & Ramírez (2015). *Evaluación de la ceniza proveniente del bagazo de caña de azúcar como material cementante alternativa para la elaboración de mortero*. Colombia.
- Calderon L., & Martinez S. (2017). *Influencia del tamaño de partícula y del porcentaje de reemplazo de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) por cemento Portland tipo I, sobre la Resistencia a la compresión, actividad puzolánico y reactividad en morteros modificados*. Trujillo.
- Cruz J., Rivero F. & Valderrama I. (2006). *Manual de laboratorio de química analítica - UNT*. Trujillo.
- Cipsa. (27 de Noviembre de 2019). *Grupo CIPSA*. Obtenido de <https://www.cipsa.com.mx/26/noticias/diferencias-entre-suelos-cohesivos-y-granulares/>
- Corral J. (2008). *El suelo - cemento como material de construcción*. Ciencia y Sociedad, 520-571.
- Chávez, C. (2017). *Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico*. Cajamarca.
- Castillo Linton, C. E. (2015). *Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nanopartículas de sílice*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma Nuevo León, México, pp.17.
- Carcedo, M. (2012). *Resistencia a compresión de bloques de tierra comprimida estabilizada con materiales de sílice de diferente tamaño de partícula*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España., Madrid, España, pp.25.
- Choque E. & Huamán J. (2009). *Adobes comprimidos suelo - cemento una alternativa ecológica*.

- Esguerra, M. (2013). *Adobe de suelo derivado de cenizas volcánicas: UNA*. Colombia.
- Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. (I. Capella, Ed.) Madrid, España: Impulso Global Solutions.
- Hernández Rodríguez, J., & Quinto Diez, P. (2004). *Secado de medios porosos: una revisión a las teorías actualmente en uso*. México: Universidad de Quintana Roo.
- Houben H., Matuk S., Vitoux F., & Sánchez C. (1990). *Construir con tierra*. Bogotá.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2012). *Mecánica de suelos* (Vol. 1). (G. N. EDITORES, Ed.) México, México: LIMUSA, S.A.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Boletín estadístico virtual de la gestión reactiva, Perú. (Consultado junio 2017) Obtenido de Dirección de políticas, planes y evaluación subdirección de aplicaciones estadísticas: <https://www.indec.gov.pe/objetos/secciones/MTc=/Mjl0/lista/OTk0/201708091706381.pdf>
- Jara R., & Palacios R. (2015). *Utilización de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del cemento en la elaboración de ladrillos de concreto*. Nuevo Chimbote.
- Llacza, 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.
- Libreros, J., & Henao, S. (2016). *Evaluación de la ceniza proveniente del bagazo de caña de azúcar como material cementante alternativo para la elaboración de mortero*. Cali.
- Minke, G. (2005). *Viviendas a bajo costo*. Brasil.
- Minke, G. (2008). *Manual de construcción en tierra - La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. España.
- Muñiz, A. (2013). *Evaluación y alternativas de mejoramiento de las viviendas autoconstruidas de adobe de la zona rural del distrito de Sicuani – Cusco*. Lima.
- Neves C., & Borges O. (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. Brasil: ProTerra.
- Norma Técnica de Edificaciones 0.80 (2006) - Adobe. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (Consultado abril 2017) Obtenido: [http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/TITULO\\_III\\_EDIFICACIONES/III.2%20ESTRUCTURAS/E.080%20ADOBE.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/TITULO_III_EDIFICACIONES/III.2%20ESTRUCTURAS/E.080%20ADOBE.pdf)
- Norma Técnica de Edificaciones 0.80 (2017) - Diseño y construcción con tierra reforzada.



Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (Consultado julio 2017)  
Obtenido:[http://procurement-notice.undp.org/view\\_file.cfm?doc\\_id=109376](http://procurement-notice.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376)

NTP 339.127. *Método de prueba para el Contenido de humedad.*

NTP 339.128. *Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado.*

NTP 339.129. *Método de prueba para el límite líquido. NTP 339.129. Límite plástico e índice de plasticidad.*

NTP 339.131. *Gravedad específica del suelo.*

NTP 339.134. (1999). *Suelos. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).* Lima.

NTP 339.141. *Proctor modificado.*

Nureña J. (2017). *Influencia del estabilizante de cemento y tipos de suelos sobre la resistencia y durabilidad de un adobe constructivo.* Trujillo.

Pastor, H. H. (2017). *Efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en la resistencia a la compresión del concreto.* Trujillo - Perú.

Reyna C. (2016). *Reutilización de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo.* Trujillo.

Reyna, Y. (2019). *Influencia de la ceniza y cemento en el adobe para muro de mampostería sobre la compresión y durabilidad.* Trujillo.

Rivera, T (2012). *El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda; caracterización con fines estructurales.* Bogotá.

Rivva, E. (2010). *Tecnología del concreto: Materiales, Propiedades, y Diseños de mezclas.* Bogotá.

Toirac, J. (2008). *El suelo - cemento como material de construcción.* Santo Domingo. Obtenido de <https://doi.org/10.22206/cys.2008.v33i4.pp520-71>

## ANEXOS

### *Anexo N°01: Matriz de consistencia*

**Tabla 45: Matriz de consistencia**

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	¿De qué manera influye el porcentaje de ceniza de la empresa trupal y cemento, sobre la compresión y durabilidad en adobes ecológicos prensados, Trujillo 2019?
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Evaluar la influencia del porcentaje de ceniza y cemento en adobes ecológicos prensados, sobre la compresión y durabilidad, Trujillo 2019.
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar el porcentaje óptimo de ceniza y cemento para elaborar adobes prensados.</li> <li>- Obtener el valor máximo de la resistencia a compresión y durabilidad en un adobe ecológico prensado con ceniza y cemento.</li> <li>- Caracterizar el suelo a partir de los ensayos de granulometría, límite líquido, plástico, peso específico, materia orgánica y Proctor modificado.</li> <li>- Contrastar estadísticamente por el método ANAVA que las variables independientes influyen en las variables dependientes.</li> <li>- Realizar el cálculo de dosificación por kg de ceniza y determinar su costo de aplicación.</li> </ul>
<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	La influencia de la ceniza de la fábrica de trupal, mejorará las características y propiedades incrementando la compresión y durabilidad, en adobes ecológicos prensados, Trujillo 2019.
<b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El porcentaje óptimo de ceniza y cemento, mejorará la compresión en adobes ecológicos prensados, Trujillo 2019.</li> <li>- El porcentaje óptimo de ceniza y cemento, mejorará la durabilidad en adobes ecológicos prensados, Trujillo 2019.</li> </ul>
<b>VARIABLES</b>	<p>Variables dependientes: Resistencia a la compresión y durabilidad.</p> <p>Variable independiente: Porcentaje de ceniza y porcentaje de cemento.</p>
<b>DISEÑO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El diseño de investigación es experimental bifactorial.</li> <li>- El tipo de investigación es aplicada.</li> <li>- El nivel de la investigación es experimental.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## Anexo N°02: Instrumentos

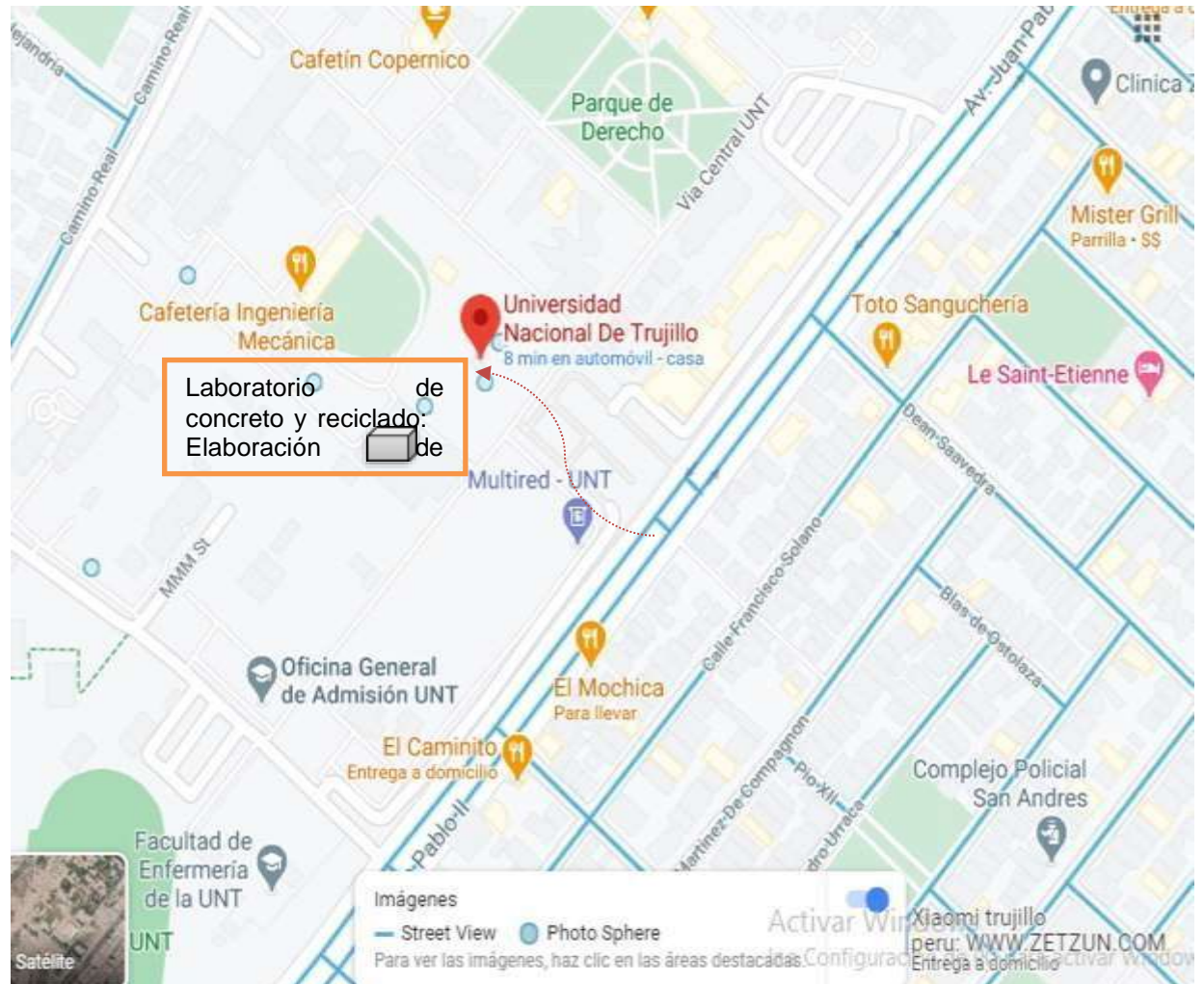
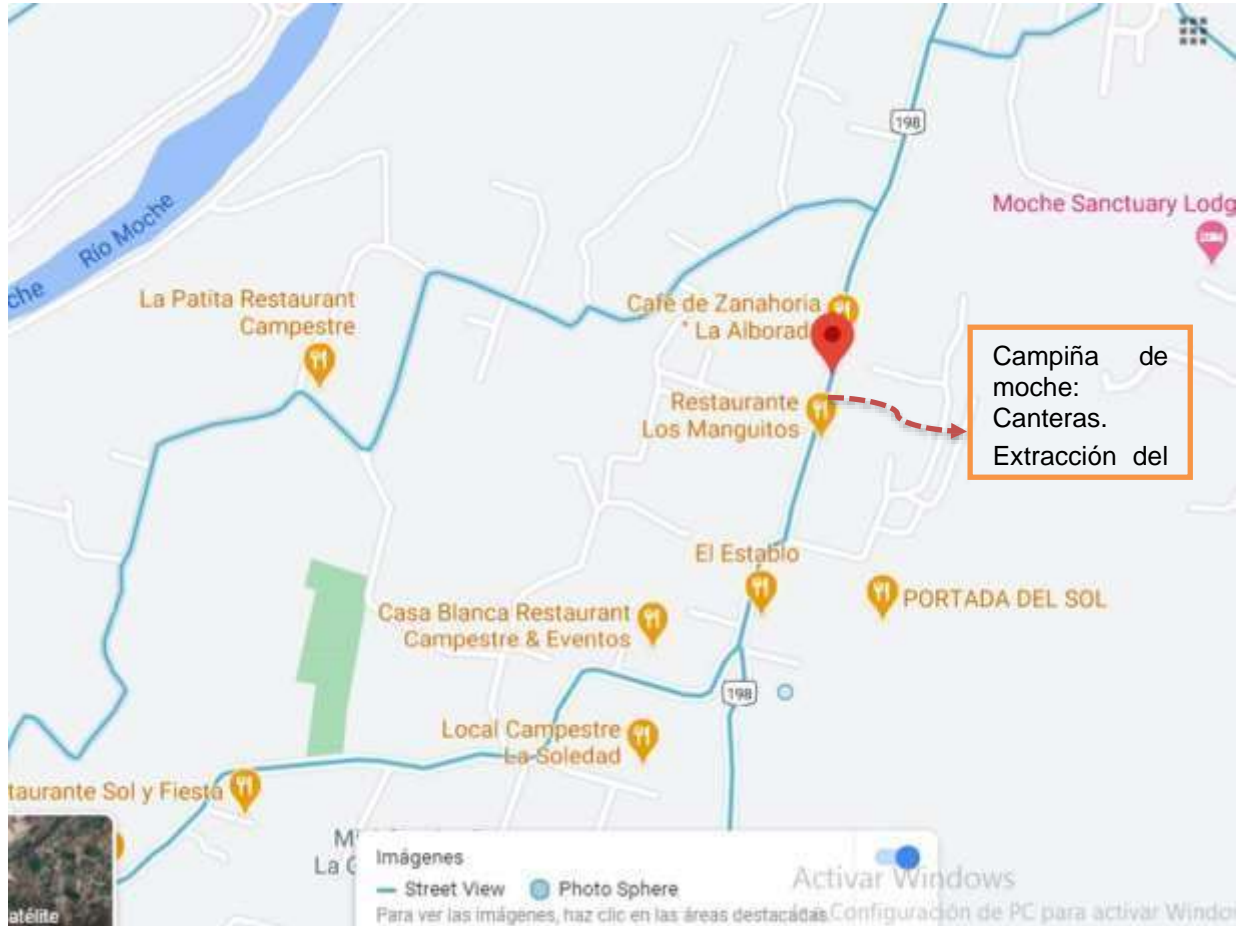


Figura 33: Mapa de ubicación para elaboración de adobes. UNT



**Figura 34:** Mapa de ubicación para extracción de tierra

### Anexo N°03: Validación de instrumentos

Ensayo de resistencia a compresión		Ensayo de durabilidad	
a. Datos generales	B. Fotografía	a. Datos generales	B. Fotografía
Nombre del investigador:		Nombre del investigador:	
Fecha:		Fecha:	
Ensayo:		Ensayo:	
Laboratorio:		Laboratorio:	
N° de muestra:		N° de muestra:	
Tipo de suelo:		Tipo de suelo:	
Porcentaje de ceniza:		Porcentaje de ceniza:	
Porcentaje de cemento:		Porcentaje de cemento:	
c. Datos específicos		c. Datos específicos	
Largo (cm) :		Peso antes de surmegir (kg):	
Ancho (cm) :		Peso después de surmegir (kg):	
Fuerza ( kg) :		Variación de pérdida de peso ( kg) :	
Resistencia a la compresión (Kg/cm2):		Porcentaje de variación de pérdida de peso (%):	



Iván E. Vázquez Alvarado  
ING MATERIALES  
R. CIP 123008

**Figura 35:** Hoja de observación para ensayos experimentales



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Concreto y Reciclado

INFORME N°05/AGO2020

**CERTIFICADO DE LABORATORIO**

**Solicitante / DNI:** Ríos Vargas Lissete Nataly / 48508392

**Institución:** Universidad Privada del Norte / Sede Trujillo

**Investigación:** Influencia de la ceniza y cemento en adobes ecológicos prensados sobre su compresión y durabilidad, Trujillo 2019.

**MUESTRA:**

**Especímenes:** 120 muestras de unidades de albañilería: adobes de 13cm de ancho x 9 cm de alto x 20cm de largo.

**Muestreo:** Realizado por tesista.

**ENSAYOS A APLICAR.** Según NTE 0.80:

- Ensayo de Resistencia a compresión en estado endurecido
- Ensayo de durabilidad
- Norma técnica de Edificaciones E.080 Albañilería.

**PARÁMETROS DEL EQUIPO:**

Compresión en estado endurecido				
Marca	Modo	Unidades	Velocidad de carga	Capacidad máxima
Ele Internacional	Mode I: compresión	SI	0.05 KN/seg	2000 KN
Estufa de secado				
Marca	Modo	Unidades	Capacidad máxima	
General Electric	Mode I: Secado	SI	400° C	
Balanza digital				
Marca	Modo	Unidades	Capacidad máxima	
Valtox	Mode I: Peso	SI	300Kg	

**Jefe De Laboratorio de concreto y reciclado:** Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo, 27 de Agosto del 2019



Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro  
Asesor

Iván E. Vásquez Alfaro  
ING. MATERIALES  
R. CIP. 123609

Figura 36: Certificado de laboratorio UNT



**CARTA DE COMPROMISO**

**Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro**  
Jefe de Laboratorio SL01LA200

Quien suscriben, tesista **Lisete Nataly Ríos Vargas** identificada con DNI N°**48508392**, egresada de la carrera de ingeniería civil, me comprometo en usar correctamente las instalaciones el laboratorio de **concreto y reciclado**, asimismo en preservar el orden y limpieza de dicho laboratorio y cumplir con las normas de seguridad de los mismos. También existiendo este compromiso en el cuidado y devolución de los equipos y herramientas que usemos para realizar mis ensayos; así también en el retiro de todos los residuos que genere en dichos ensayos, sometiéndonos a las políticas de sanción que la entidad juzgue necesarias en caso que no se cumpla con dicho compromiso.

Sin otro particular y para constancia establecemos nuestra respuesta por este mismo medio.

Atentamente,

Lisete Nataly Ríos Vargas  
DNI: 48508392  
Cel: 949315476

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro  
Asesor

ING. E. Vásquez Alfaro  
ING. MATERIALES  
R. CIP 123809

**Figura 37:** Carta de compromiso, uso de laboratorio

## Anexo N°04: Normativas

310	NORMAS LEGALES	El Peruano Martes 23 de mayo de 2006
<b>NORMA E.080</b>		
<b>ADOBE</b>		
<b>Artículo 1.- ALCANCE</b>		
<p>La Norma comprende lo referente al adobe simple o estabilizado como unidad para la construcción de albañilería con este material, así como las características, comportamiento y diseño.</p> <p>El objetivo del diseño de construcciones de albañilería de adobe es proyectar edificaciones de interés social y bajo costo que resistan las acciones sísmicas, evitando la posibilidad de colapso frágil de las mismas.</p> <p>Esta Norma se orienta a mejorar el actual sistema constructivo con adobe tomando como base la realidad de las construcciones de este tipo, existentes en la costa y sierra.</p> <p>Los proyectos que se elaboren con alcances y bases distintos a los considerados en esta Norma, deberán estar respaldados con un estudio técnico.</p>		
<b>Artículo 2.- REQUISITOS GENERALES</b>		
<p>2.1. El proyecto arquitectónico de edificaciones de adobe deberá adecuarse a los requisitos que se señalan en la presente Norma.</p> <p>2.2. Las construcciones de adobe simple y adobe estabilizado serán diseñadas por un método racional basado en los principios de la mecánica, con criterios de comportamiento elástico.</p> <p>2.3. Las construcciones de adobe se limitarán a un solo piso en la zona sísmica 3 y a dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1 definidas en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente.</p> <p>Por encima del primer piso de adobe, podrán tenerse estructuras livianas tales como las de quinchá o similares.</p> <p>2.4. No se harán construcciones de adobe en suelos granulares sueltos, en suelos cohesivos blandos, ni arcillas expansivas. Tampoco en zonas propensas a inundaciones, cauces de avalanchas, aluviones o huaycos o suelos con inestabilidad geológica.</p> <p>2.5. Dependiendo de la esbeltez de los muros, se deberá incluir la colocación de refuerzos que mejoren el comportamiento integral de la estructura.</p>		
<b>Artículo 3.- DEFINICIONES</b>		
<b>3.1. Adobe</b>		
Se define el adobe como un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos.		
<b>3.2. Adobe Estabilizado</b>		
Adobe en el que se ha incorporado 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.		
<b>3.3. Mortero</b>		
Material de unión de los adobes. Puede ser barro con paja o con arena, o barro con otros componentes como asfalto, cemento, cal, yeso, bosta, etc.		
<b>3.4. Arriostre</b>		
Elemento que impide el libre desplazamiento del borde de muro. El arriostre puede ser vertical u horizontal.		
<b>3.5. Altura Libre de Muro</b>		
Es la distancia vertical libre entre elementos de arriostre horizontales.		
<b>3.6. Largo Efectivo</b>		
Distancia libre horizontal entre elementos de arriostre verticales o entre un elemento de arriostre y un extremo libre.		
<b>3.7. Esbeltez</b>		
Relación entre la altura libre del muro y su espesor.		
<b>3.8. Muro Arriestrado</b>		
Es un muro cuya estabilidad lateral está confiada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales.		
<b>3.9. Extremo Libre de Muro</b>		
Es el borde vertical u horizontal no arriestrado de un muro.		
<b>3.10. Vigas Collar o Soleras</b>		
Son elementos de uso obligatorio que generalmente conectan a los entrepisos y techos con los muros. Adecuadamente rigidizados en su plano, actúan como elemento de arriostre horizontal (Ver Artículo 6 (6.3)).		
<b>3.11. Contrafuerte</b>		
Es un arriostre vertical construido con este único fin.		
<b>Artículo 4.- UNIDAD O BLOQUE DE ADOBE</b>		
<b>4.1. Requisitos Generales</b>		
<p>La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: <b>arcilla</b> 10-20%, <b>limo</b> 15-25% y <b>arena</b> 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara.</p> <p>El adobe deberá estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.</p>		
<b>4.2. Formas y Dimensiones</b>		
<p>Los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales.</p> <p>Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Para adobes rectangulares el largo sea aproximadamente el doble del ancho.</li> <li>La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.</li> <li>En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.</li> </ol>		
<b>4.3. Recomendaciones para su Elaboración</b>		
<p>Remojar el suelo y retirar las piedras mayores de 5 mm y otros elementos extraños.</p> <p>Mantener el suelo en reposo húmedo durante 24 horas. Secar los adobes bajo sombra.</p>		
<b>Artículo 5.- COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE</b>		
<b>5.1. Comportamiento Sísmico de las Construcciones de Adobe</b>		
<p>Las fallas de las estructuras de adobe no reforzadas, debidas a sismos, son frágiles. Usualmente la poca resistencia a la tracción de la albañilería produce la falla del amarre de los muros en las esquinas, empezando por la parte superior; esto a su vez aísla los muros unos de otros y conduce a una pérdida de estabilidad lateral, produciendo el desplome del mismo fuera de su plano.</p> <p>Si se controla la falla de las esquinas, entonces el muro podrá soportar fuerzas sísmicas horizontales en su plano las que pueden producir el segundo tipo de falla que es por fuerza cortante. En este caso aparecen las típicas grietas inclinadas de tracción diagonal.</p> <p>Las construcciones de adobe deberán cumplir con las siguientes características generales de configuración:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Suficiente longitud de muros en cada dirección, de ser posible todos portantes.</li> <li>Tener una planta que tienda a ser simétrica, preferentemente cuadrada.</li> <li>Los vanos deben ser pequeños y de preferencia centrados.</li> <li>Dependiendo de la esbeltez de los muros, se definirá un sistema de refuerzo que asegure el amarre de las esquinas y encuentros.</li> </ol>		
<b>5.2. Fuerzas Sísmicas Horizontales</b>		
<p>La fuerza sísmica horizontal en la base para las edificaciones de adobe se determinará con la siguiente expresión:</p> $H = S U C P$ <p>Donde:</p> <p><b>S:</b> Factor de suelo (indicado en la Tabla 1).  <b>U:</b> Factor de uso (indicados en la Tabla 2).  <b>C:</b> Coeficiente sísmico (indicado en la Tabla 3) y  <b>P:</b> Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50% de la carga viva.</p>		



DIARIO OFICIAL DEL BICENTENARIO

**El Peruano**

FUNDADO EL 20 DE OCTUBRE DE 1820 POR EL LIBERTADOR SIMÓN BOLÍVAR

ÁREA DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO

Viernes 7 de abril de 2017

**MINISTERIO DE VIVIENDA,  
CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO**

**NORMA E.080  
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
CON TIERRA REFORZADA**

**ANEXO - RESOLUCIÓN MINISTERIAL  
N° 121-2017-VIVIENDA**

**NORMAS LEGALES**

**SEPARATA ESPECIAL**

**NORMA TÉCNICA** NTP 339.128  
**PERUANA** 1999

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

## SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico

SOILS. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

**1999-12-15**  
**1ª Edición**

R.0077-99/INDECOPI-CRT. Publicada el 2000-01-26 Precio basado en 23 páginas  
I.C.S.: 93.020 ESTA NORMA ES RECOMENDABLE  
Descriptores: análisis granulométrico, granulometría

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCTORES DE COMERCIO CALLE LOS CORREA S.A. SUCURSAL PERÚ

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

**NTP 339.131  
1999**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI  
Calle De la Prisa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 143

Lima-Perú

**SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso  
específico relativo de las partículas sólidas de un suelo**

Soils. Standard Test Method for Specific Gravity of Solid particles of soils

**1999-04-29  
1ª Edición**

R.0024-99/INDECOPI-CRT. Publicada el 99-09-14

Precio basado en 06 páginas

I.C.S.: 93.029

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptores: peso específico relativo de sólidos, gravedad específica

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

**NTP 339.127  
1998**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle De La Prose 138, San Borja (Lima 41) Apostado 145

Lima-Perú

**SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido  
de humedad de un suelo**

Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock

**1998-11-25  
1ª Edición**

R.0062-96/INDECOPI-CRT Publicada el 93-12-12

Precio basado en 10 páginas

I.C.S.: 93.020

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptores: Suelo, método de ensayo, contenido de humedad, humedad

## SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos

### 1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece los métodos de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de una muestra de suelo, como se definen en la Sección 3.

### 2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda Norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia en todo momento.

#### 2.1 Normas Técnicas Peruanas

- |       |                  |   |
|-------|------------------|---|
| 2.1.1 | NTP 339.089:1998 | SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo)  |
| 2.1.2 | NTP 339.090:1998 | SUELOS. Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo |
| 2.1.3 | NTP 339.127:1998 | SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad  |

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

**NTP 339.134  
1999**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI  
Calle De la Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

**SUELOS. Método para la clasificación de suelos con  
propósitos de ingeniería (sistema unificado de  
clasificación de suelos, SUCS)**

Soils. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification  
System, SUCS)

**1999-04-29  
1ª Edición**

R.0024-99/INDECOPI-CRT. Publicada el 99-05-14

Precio basado en 28 páginas

I.C.S.: 93.020

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: clasificación SUCS

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

**NTP 339-141  
1999**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle De la Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

**SUELOS. Método de ensayo para la compactación del  
suelo en laboratorio utilizando una energía modificada  
(2,700 kN-m/m<sup>3</sup> (56,000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))**

SOILS. Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000  
ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>))

**1999-12-29  
1ª Edición**

R. 0086-99/INDECOPI-CRT. Publicada el 2000-01-26

Precio basado en 30 páginas

I.C.S. 93.020

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptores: Suelos, métodos de ensayo, compactación del suelo, energía modificada

**Tabla 46:** Valores críticos de la distribución 0.05,  $V_1$ ,  $V_2$

$v_2$	$f_{0.05}(v_1, v_2)$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

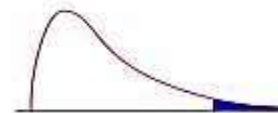


### Distribución F 0.05

En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha

En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador

En los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.87	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35

**Cuadro 7**  
**Límites máximos permisibles referenciales de los parámetros**  
**de calidad del agua potable**

Parámetro	LMP ref.	Referencias
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)	1
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)	1
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500	1
pH	6,5-8,5	1
Turbiedad, UNT	5	1
Conductividad, 25 °C IS/cm	1.500	3
Color, UCV-Pt-Co	20	2
Cloruros, mg/L	250	2
Sulfatos, mg/L	250	2
Dureza, mg/L	500	3
Nitratos, mg NO <sub>3</sub> /L	50	1
Hierro, mg/L	0,3	0,3 (Fe + Mn = 0,5) 2
Manganeso, mg/L	0,2	0,2 (Fe + Mn = 0,5) 2
Aluminio, mg/L	0,2	1
Cobre, mg/L	3	2
Plomo, mg/L	0,1	2
Cadmio, mg/L	0,003	1
Arsénico, mg/L	0,1	2
Mercurio, mg/L	0,001	1
Cromo, mg/L	0,05	1
Flúor, mg/L	2	2
Selenio, mg/L	0,05	2

DIVISIONES			Símbolos del	NOMBRES	IDENTIFICACIÓN	DE		
<b>SUELOS DE GRANO GRUESO</b> Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por	<b>Gravas limpias</b> (sin o con	<b>GW</b>	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos f	Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: <5% - >GW,GP,SW,SP. >12% -	Cu= $D_{60}/D_{10}>4$ Cc= $(D_{30})^2/D \times D$ entre		
			<b>GP</b>	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos f			No cumplen con las especificaciones de granulometría para	
		<b>Gravas con finos</b> (apreciable)	<b>GM</b>	Gravas limosas, mezclas grava-		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP	Encima de la línea A con IP entre	
			<b>GC</b>	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena- arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A	4 y 7 son casos límite	
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz	<b>Are nas limpias</b> (pocos	<b>SW</b>	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos f		Cu= $D_{60}/D_{10}>6$ Cc= $(D_{30})^2/D \times D$ entre		
			<b>SP</b>	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos f		Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.		
		<b>Arenas con finos</b> (apreciable)	<b>SM</b>	Arenas limosas, mezclas de arena y		Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP	Los límites situados en la zona	
			<b>SC</b>	Arenas arcillosas, mezclas		Límites de Atterberg sobre la línea A	rayada con IP entre 4 y	
		<b>SUELOS DE GRANO FINO</b> Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	<b>Lim os y arcillas :</b> Límite líquido menor de 50			<b>ML</b>	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limos o arcillosa, o limos arcillosos	
						<b>CL</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas,	
<b>OL</b>	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja							
<b>Lim os y arcillas :</b> Límite líquido mayor de 50			<b>MH</b>	Limos inorgánicos, suelos arenosos inos o limosos con mica o diatomeas				
			<b>C</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.				
			<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos				
			<b>P</b>	Turba y otros suelos de alto contenido				



## **POLÍTICA AMBIENTAL Y DE CALIDAD de TRUPAL S.A.**

En Trupal S.A. nos comprometemos a identificar y entregar oportunamente la calidad esperada por nuestros clientes en todos los productos y servicios que proveemos.

Nos comprometemos también a prevenir la contaminación y cumplir la legislación y reglamentación vigentes para los procesos relacionados con la producción de papel, empaques y productos asociados, bajo un esquema de mejora continua orientada a incrementar la satisfacción de nuestros accionistas, trabajadores, clientes y proveedores.

Desarrollamos una gestión de respeto y apoyo a las comunidades en las que operamos, bajo los principios corporativos de ser "buenos vecinos".



Gerencia General

RCC026-15

**ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO**  
**MUESTRA: CENIZA "TRUPAL"**

Composición química de las cenizas volantes de TRUPAL S.A.

COMPONENTE / PROPIEDAD	% en peso
SiO <sub>2</sub>	44.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63
CaO	0.63
MgO	0.59
SO <sub>3</sub>	0.45
Na <sub>2</sub> O	0.36
K <sub>2</sub> O	1.87
TiO <sub>2</sub>	1.44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02
MnO	0.08
Pérdida por ignición	11.82
Humedad ADL (Air-dry loss)	0.6
Humedad residual	0.68
Humedad total	1.28%
Poder calorífico (kcal/kg)	1340.33

Arequipa, 11 de julio, 2015



*Anexo N°05: Panel fotográfico*



**Figura 38:** *Ensayo de límites de atterberg - Laboratorio UPN*



**Figura 39:** *Ensayo de casa grande - Laboratorio UPN*



**Figura 40:** *Ensayo de proctor modificado - Laboratorio UPN*



**Figura 41:** *Ensayo de proctor modificado, laboratorio UPN*



**Figura 42:** *Bloque de adobes puestos a luz natural a secar*



**Figura 43:** *Medición de adobes para ensayo de esfuerzo a la compresión*





**Figura 44:** *Ensayo de esfuerzo a la compresión. UNT*



**Figura 45:** *Ensayo de durabilidad 2 horas después de sumersión*



**Figura 46:** Retiro de adobes del ensayo de durabilidad. Taller de Materiales



**Figura 47:** Secado al horno de adobes después de ensayo de durabilidad



**Figura 48:** *Secado de adobes a luz natural – Laboratorio de concreto UNT*



**Figura 49:** *Toma de data y pesos después de ensayo de durabilidad*

## Anexo N°06: Propuesta de diseño vs adobe tradicional

### ADOBE ECOLÓGICO PENSADO CON CENIZA Y CEMENTO



#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

$\sigma$  máx.= 72.6 Kg/cm<sup>2</sup>

Diseño de mezcla:

Ceniza: 0.925 kg.

Tierra: 2.775 kg,

Cemento: 0.333kg.

Agua: 0.888 lt.

Supera los parámetros, basados en RNE  
0.80.2017 de 10.2kg/cm<sup>2</sup>

#### USOS

Viviendas rurales, cercos perimétricos, viviendas de campo.

#### CARACTERÍSTICAS

Costo: S/.0.55

#### BENEFICIOS

ACCESIBLE: Materiales fácilmente de conseguir.

ECONÓMICO: Altos rendimientos, menores costos de colocación.

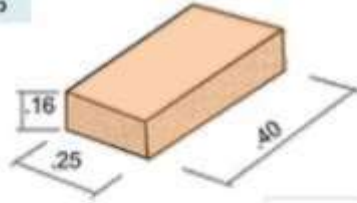
DURABLE: Buena resistencia al agua.

ECOLÓGICO: Contribuye al cuidado del medio ambiente, usando el residuo sólido de la ceniza.

RESISTENTE: Altas resistencias a la compresión.

### 1) Adobe Paralelepípedo

Colocados alternadamente en forma **longitudinal y transversal** para obtener una estructura compacta. Se habrían utilizado **moldes de caña**



Sitios : Huaca del Sol (Trujillo) Huaca de la Luna (Trujillo) Pañamarca (Lambayeque)

### 3) Adobes Dentiformes, Ovoides y Hemisféricos

Empleados de forma menos continua.

### 2) Adobitos

Colocados en fila como libros en un estante sobre dos hiladas colocados en soga, formando parámetros **anchos y sólidos** que deberían contener el relleno de tierra, grava y cantos rodados, para lograr la elevación de volúmenes piramidales.



Sitios: Huaca Pucilana o Juliana (Lima) Huaca Aramburu (Lima) Cajamarquilla (Lima)









