

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos  
adicionando polvo de restos de baldosa cerámica en subrasante**

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

**AUTOR**

**Manuel Fernando Arizaga Jibaja**

**ASESOR**

**Manuel Alejandro Borja Suarez**

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4976>

**Chiclayo, 2025**

**Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos  
adicionando polvo de restos de baldosa cerámica en subrasante**

PRESENTADA POR

**Manuel Fernando Arizaga Jibaja**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR

Angel Alberto Lorren Palomino  
PRESIDENTE

Ruben Eli Estrada Chunga  
SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Este logro va dedicado a Dios, por darme salud y persistencia para superar todos los desafíos presentes durante los años de carrera.

A mi madre Nuri, por su apoyo incondicional y la confianza depositada en mí, mi hermano Luis y mi hermana Darleth que son el motivo principal para seguir creciendo profesionalmente y mis abuelos Luis y Esterfilia por todo el amor, apoyo, enseñanzas y valores inculcados.

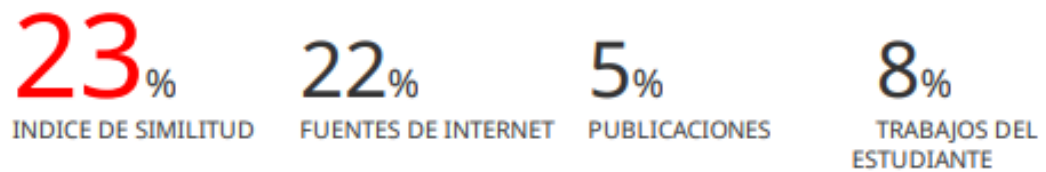
## **Agradecimientos**

Agradezco a mi padre Manuel y a mi familia por su apoyo incondicional, a mis amigos Nathaly, Brando, Olenka, Zully y Jospheh por todos los buenos momentos.

Agradezco a todos los docentes que se dedicaron a enseñarnos y transmitirnos la pasión por la carrera. A mi asesor, el Ing. Borja Suarez, Manuel Alejandro y al Ing. Atilio Rubén Vásquez Carranza por su comprensión y por ser parte primordial de esta investigación. A Henry Rivadeneyra Oblitas por su paciencia y enseñanzas durante mi estadía en el laboratorio.

# ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS ADICIONANDO POLVO DE RESTOS DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>9%</b>
<b>2</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.usanpedro.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>

## Índice

Resumen .....	14
Abstract .....	15
Introducción .....	16
Revisión de literatura .....	18
Antecedentes .....	18
Antecedentes Internacionales.....	18
Antecedentes Nacionales .....	20
Bases teóricas .....	21
Suelos .....	22
Definición.....	22
Origen.....	22
• Granulometría .....	22
• Plasticidad .....	23
• Humedad Natural .....	24
• Gravedad específica .....	24
Clasificación.....	24
• Clasificación mediante el sistema AASHTO M-145.....	24
• Clasificación mediante la norma ASTM D-2487 (SUCS).....	26
• Correlación entre AASHTO y SUCS.....	26
Estabilización de suelos .....	27
Suelos estabilizados con cemento .....	27
Correlación de cemento .....	28
Cerámica .....	28
Baldosa de cerámica.....	28
Propiedades físicas del suelo.....	29

•	Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108).....	29
•	Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107) .....	30
•	Muestreo de suelos y rocas (MTC E 101) .....	31
•	Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua (MTC E 113).....	31
•	Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110) .....	32
•	Determinación del límite plástico (LP) de los suelos e índice de plasticidad (IP) (MTC E 111).....	32
•	Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada Proctor modificada (MTC E 115) [16].....	33
•	CBR de suelos (laboratorio) (MTC E 132).....	34
	Materiales y métodos .....	36
	Tipo de investigación .....	36
	Diseño de investigación .....	36
	Población, muestra de estudio y muestreo .....	37
	Población.....	37
	Muestra de estudio .....	37
	Muestreo.....	37
	Criterio de selección.....	41
	Hipótesis y operacionalización de variables .....	41
	Hipótesis.....	41
	Operacionalización de variables .....	41
	Técnica e instrumentos de recolección de datos .....	44
	Técnicas .....	44
	Instrumentos.....	44
	Procedimiento .....	44
	Resultados y discusión .....	80
	Resultados .....	80

Composición química del reporte de análisis a la baldosa cerámica .....	80
Perfil estratigráfico de excavación .....	81
Ensayos para determinar las propiedades físicas de la muestra natural.....	81
• Contenido de humedad .....	81
• Limite líquido (LL) .....	82
• Límite de plástico (LP) .....	83
• Índice de plasticidad (IP) .....	83
• Análisis granulométrico .....	84
• Peso Específico relativo de las partículas sólidas de un suelo .....	87
Ensayos para determinar las propiedades mecánicas de la muestra natural .....	87
• Proctor modificado.....	87
• California Bearing ratio (CBR de suelos).....	87
Ensayos para determinar las propiedades físicas de la muestra con adición de 3%, 6%, 9% y 12%.....	88
• Límite líquido.....	88
• Límite plástico .....	88
• Índice de plasticidad (IP) .....	89
Ensayos para determinar las propiedades mecánicas de la muestra con adición de 3%, 6%, 9% y 12%.....	91
• Proctor modificado.....	91
• California Bearing ratio (CBR de suelos).....	93
Costo del proceso para la fabricación del polvo de baldosa cerámica.....	94
Costo de la baldosa cerámica en subrasante según el porcentaje de adición.....	96
• Para la calicata 01 .....	96
• Para la calicata 02 .....	97
• Para la calicata 03 .....	98
Discusión.....	100

Conclusiones .....	107
Recomendaciones.....	109
Referencias .....	110
Anexos.....	112

## Lista de tablas

Tabla 01: Clasificación de los suelos según tamaño de partículas.....	23
Tabla 02: Clasificación de los suelos según índice de plasticidad.....	23
Tabla 03: Clasificación de los suelos basada en AASHTO M-145 .....	25
Tabla 04: Clasificación de los suelos SUCS .....	26
Tabla 05: Correlación de tipos de suelos AASHTO y SUCS .....	26
Tabla 06: Guía complementaria referencial para la selección del tipo de estabilizador .....	28
Tabla 07: Correlación de antecedentes con cemento como agente estabilizador .....	28
Tabla 08: Cantidad de muestra para el determinar el contenido de humedad de un suelo .....	29
Tabla 09: Tamices para ensayo de granulometría por tamizado.....	30
Tabla 10: Peso de la muestra por diámetro nominal de partículas.....	30
Tabla 11: Puntos de investigación por tipo de vía .....	37
Tabla 12: Ubicación de calicatas.....	39
Tabla 13: Número de muestras patrón .....	40
Tabla 14: Número de muestras con adición de polvo de restos de baldosa cerámica en calicata 1 y 2 .....	40
Tabla 15: Número de muestras con adición de polvo de restos de baldosa cerámica en calicata 3 .....	40
Tabla 16: Número total de muestras .....	41
Tabla 17: Operacionalización de variables .....	42
Tabla 18: Registro de excavación en calicata N°01 .....	49
Tabla 19: Registro de excavación en calicata N°02.....	49
Tabla 20: Registro de excavación en calicata N°03.....	49
Tabla 21: Ensayos para la muestra patrón (propiedades físicas) .....	51
Tabla 22: Datos para contenido de humedad de la muestra patrón.....	52
Tabla 23: Datos para límite líquido de la muestra patrón .....	54
Tabla 24: Datos para límite plástico de la muestra patrón .....	55
Tabla 25: Datos obtenidos en el ensayo de granulometría por calicata .....	58

Tabla 26: Datos para calcular la gravedad específica de la muestra por calicata .....	60
Tabla 27: Ensayos para la muestra patrón (propiedades mecánicas) .....	60
Tabla 28: Número de muestras para realizar el ensayo de Proctor en la muestra patrón.....	61
Tabla 29: Datos obtenidos al realizar el ensayo de Proctor en la muestra patrón.....	63
Tabla 30: Datos para determinar el contenido de humedad en el ensayo de Proctor en la muestra patrón.....	64
Tabla 31: Número de vueltas para realizar el ensayo de CBR en la muestra patrón .....	65
Tabla 32: Ensayos para la muestra modificada (propiedades físicas).....	68
Tabla 33: Datos para determinar el límite líquido de la muestra con adición.....	72
Tabla 34: Datos para límite plástico de la muestra con adición.....	74
Tabla 35: Ensayos para la muestra modificada (propiedades mecánicas) .....	75
Tabla 36: Número de muestras de CBR con adición .....	77
Tabla 37: Composición química del polvo de baldosa cerámica .....	80
Tabla 38: Resultados: Perfil estratigráfico .....	81
Tabla 39: Resultados: Contenido de humedad.....	81
Tabla 40: Resultados del ensayo de límite líquido (LL) .....	82
Tabla 41: Resultados del ensayo de límite plástico (LP) .....	83
Tabla 42: Resultados del índice de plasticidad (IP) .....	83
Tabla 43: Resultados de granulometría: Calicata N°01 .....	84
Tabla 44: Resultados de granulometría: Calicata N°02 .....	85
Tabla 45: Resultados de granulometría: Calicata N°03 .....	86
Tabla 46: Resultados de peso específico relativo de sólidos (Gs) .....	87
Tabla 47: Resultados de Proctor modificado en la muestra patrón.....	87
Tabla 48: Resultados de California Bearing ratio (CBR de suelos) en la muestra patrón .....	87
Tabla 49: Resultados de Límite líquido (LL) con adición .....	88
Tabla 50: Resultados de Límite plástico (LP) con adición .....	88
Tabla 51: Resultados de índice de plasticidad (IP) con adición.....	89
Tabla 52: Caracterización de suelos mediante SUCS y AASHTO .....	90

Tabla 53: Resultados de Proctor modificado con adición.....	91
Tabla 54: Resultados de CBR con adición.....	93
Tabla 55: Recolección de baldosa cerámica .....	94
Tabla 56: Transporte de la baldosa .....	95
Tabla 57: Trituración de baldosa cerámica .....	95
Tabla 58: Tamizado de baldosa cerámica .....	95
Tabla 59: APU para el 3% de adición – C1 .....	96
Tabla 60: APU para el 6% de adición – C1 .....	96
Tabla 61: APU para el 9% de adición – C1 .....	96
Tabla 62: APU para el 12% de adición – C1 .....	97
Tabla 63: APU para el 3% de adición – C2 .....	97
Tabla 64: APU para el 6% de adición – C2 .....	97
Tabla 65: APU para el 9% de adición – C2 .....	98
Tabla 66: APU para el 12% de adición – C2 .....	98
Tabla 67: APU para el 3% de adición – C3 .....	98
Tabla 68: APU para el 6% de adición – C3 .....	99
Tabla 69: APU para el 9% de adición – C3 .....	99
Tabla 70: APU para el 12% de adición – C3 .....	99
Tabla 71: Cuadro comparativo de la investigación con los antecedentes .....	101
Tabla 72: Cuadro comparativo del ensayo Proctor con los antecedentes .....	102
Tabla 73: Cuadro comparativo del ensayo CBR con los antecedentes .....	103
Tabla 74: Cuadro comparativo del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) .....	104

### **Lista de figuras**

Figura 01: Proceso para identificar el tipo de suelo .....	27
Figura 02: Dimensiones del molde para realizar el ensayo de CBR.....	35
Figura 03: Dimensiones del trípode para realizar el ensayo de CBR.....	35
Figura 04: Dimensiones de la plaza de vástago y las pesas para realizar el ensayo de CBR...	36

Figura 05: Área de la Urb. Ciudad del Chofer .....	38
Figura 06: Distribución de calicatas .....	39
Figura 07: Diagrama de flujo del procedimiento de investigación .....	45
Figura 08: Recolección de baldosa cerámica .....	46
Figura 09: Limpieza de baldosa cerámica.....	46
Figura 10: Proceso de preparación de la muestra de baldosa cerámica .....	47
Figura 11: Resultado final de la muestra de baldosa cerámica .....	47
Figura 12: Muestra para análisis químico .....	47
Figura 13: Excavación para la obtención del suelo arcilloso .....	48
Figura 14: Almacenamiento de la muestra.....	50
Figura 15: Secado de la muestra arcillosa en un ambiente controlado .....	50
Figura 16: Peso de las 03 muestras secas .....	52
Figura 17: Muestras para realizar ensayo de límite líquido .....	53
Figura 18: Muestras saturadas para realizar los ensayos de límite líquido .....	53
Figura 19: Ensayo para determinar el límite líquido usando la copa de Casagrande.....	54
Figura 20: Barras de 3.20 mm de diámetro para determinar el límite plástico .....	55
Figura 21: Muestras secas para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.....	56
Figura 22: Tamices usados para realizar el ensayo de granulometría.....	57
Figura 23: Muestra tamizada de una de las calicatas .....	57
Figura 24: Fiolas con las muestras con aire atrapado por calicata .....	59
Figura 25: Fiola en la bomba de vacío para eliminar los vacíos de cada calicata.....	59
Figura 26: Fiolas con las muestras sin aire atrapado por calicata .....	60
Figura 27: Ensayo de Proctor modificado: saturación .....	62
Figura 28: Ensayo de Proctor modificado: compactación .....	62
Figura 29: Ensayo CBR de suelos: saturación .....	65
Figura 30: Ensayo CBR de suelos: compactación .....	66
Figura 31: Ensayo CBR de suelos: inmersión.....	67

Figura 32: Ensayo CBR de suelos: penetración.....	67
Figura 33: Peso del polvo de baldosa cerámica y peso de la muestra natural.....	68
Figura 34: Ensayo para determinar el límite líquido de la muestra con adición usando la copa de Casagrande .....	71
Figura 35: Barras de 3.20 mm de diámetro para determinar el límite plástico de la muestra con adición.....	73
Figura 36: Muestra seca con adición necesaria para determinar el índice de plasticidad.....	75
Figura 37: Saturación de muestra para CBR con adición .....	77
Figura 38: Compactación de muestra para CBR con adición .....	78
Figura 39: Inmersión de muestra para CBR con adición .....	78
Figura 40: Penetración de muestra para CBR con adición.....	79
Figura 41: Gráfico de barras de la composición química del polvo de restos de baldosa cerámica .....	80
Figura 42: Gráfico de barras del contenido de humedad de cada calicata .....	82
Figura 43: Curva granulométrica: Calicata N°01.....	84
Figura 44: Curva granulométrica: Calicata N°02.....	85
Figura 45: Curva granulométrica: Calicata N°03.....	86
Figura 46: Límite líquido (LL) según su % de adición.....	88
Figura 47: Límite plástico (LP) según su % de adición.....	89
Figura 48: Índice de plasticidad (IP) según su % de adición .....	90
Figura 49: Máxima densidad seca según el porcentaje de adición de polvo de baldosa cerámica .....	92
Figura 50: Óptimo contenido de humedad según el porcentaje de adición de polvo de baldosa cerámica .....	92
Figura 51: CBR al 100% según el porcentaje de adición.....	93
Figura 52: CBR al 95% según el porcentaje de adición.....	94

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos adicionando polvo de baldosa cerámica en porcentajes de peso de 3%, 6%, 9% y 12%. Para realizar esto, se realizaron ensayos de caracterización de las muestras, determinar el ensayo Proctor y CBR, realizar un análisis comparativo de dichos ensayos de la adición con la muestra patrón, para esto los ensayos se realizaron siguiendo los lineamientos establecidos en el manual de ensayo de materiales dado por el MTC. Así como, un análisis con otras metodologías. El ensayo químico de la adición dio como resultado la presencia de óxido de calcio (CaO) y óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en grandes cantidades, la caracterización demuestra que el suelo que se va a someter a estabilización es tipo CL y predomina el A-4. El ensayo Proctor determinó una disminución en la máxima densidad seca y un aumento en el óptimo contenido de humedad, mientras que ensayo de CBR dio como resultado una mejora considerable según el porcentaje de adición. Las propiedades físicas variaron considerablemente, teniendo un aumento en tanto al límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Las propiedades mecánicas dieron como resultado un aumento del CBR al 95% teniendo una mejora del 166% del 12% de adición respecto a la muestra patrón. El análisis comparativo con otras metodologías evidencia la viabilidad del aditivo en tanto se trabaje con grandes cantidades.

**Palabras clave:** baldosa cerámica, estabilización, suelos arcillosos, propiedades físicas, propiedades mecánicas.

### Abstract

The objective of this research is to analyze the physical and mechanical properties of clayey soils by adding ceramic tile powder in weight percentages of 3%, 6%, 9% and 12% in order to improve them. To do this, characterization tests were carried out on the samples, determining the Proctor and CBR tests, performing a comparative analysis of said addition tests with the standard sample, for this the tests were carried out following the guidelines established in the materials testing manual given by the MTC. As well as, an analysis with other methodologies. The chemical test of the addition resulted in the presence of calcium oxide (CaO) and iron oxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) in large quantities, the characterization shows that the soil to be subjected to stabilization is type CL and A-4 predominates. The Proctor test determined a decrease in the maximum dry density and an increase in the optimal moisture content, samples in which the CBR test resulted in a considerable improvement according to the addition percentage. The physical properties varied considerably, with an increase in the liquid limit, plastic limit and plasticity index. The mechanical properties resulted in an increase in CBR to 95% with a 166% improvement of the 12% addition with respect to the standard sample. The comparative analysis with other methodologies shows the viability of the additive when working with large quantities.

**Keywords:** ceramic tile, stabilization, clay soils, physical properties, mechanical properties.

## Introducción

Los suelos constituyen el pilar fundamental de soporte de estructuras, de ahí la necesidad de estudiar sus características a un nivel detallado. En el desarrollo de vías, es el sostén primordial, ya que de ello depende que la población se mantenga comunicada y satisfaga sus necesidades primordiales, como la salud y alimentación. Por ello, se han realizado diversas investigaciones a lo largo del tiempo, con el propósito de estudiar las características de los suelos y encontrar mecanismos que mejoren su desempeño.

Según Lucca [1], las vías de comunicación son importantes en la organización estratégica de un lugar, contando con accesibilidad y reciprocidad de las áreas. Estos factores impactan en la productividad de las actividades que se llevan a cabo dentro de un área. Por lo tanto, el desarrollo de un territorio depende, de entre muchos factores, de las vías de comunicación.

En Perú, en 2012, el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) cuenta con 140 672.36 km de carretera, en la que se comprende la red vial nacional, departamental y vecinal según el Registro Nacional de Carreteras (RENAC) [2]. Dando a notar que gran parte del Perú se encuentra comunicada. Por ello, el estudio de suelos para la ejecución de carreteras es relevante al momento de realizarlas. Asimismo, es preciso detallar, la diversidad de suelos que se tiene depende mucho de la ubicación en la que se encuentre.

Para la presente investigación, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), menciona que la ciudad de Chiclayo está dividida en 4 sectores. Cada sector fue analizado en tanto a esfuerzos y deformaciones de la tierra en el sector urbano de la ciudad y su entorno, analizando la conducta que tendrá ante cargas estáticas y dinámicas [3]. En cuanto al área en específico, la Urb. Ciudad del Chofer, se ubicaría en el sector I, para el cual predominan arcillas de baja y alta plasticidad (tipo CL y CH), arenas del tipo SC, SM y SP y las gravas del tipo GC y GP; y con respecto al nivel freático, esta zona varía entre los dos a siete metros.

En cuanto a la infraestructura vial, los suelos arcillosos son un gran problema por su gran expansividad y que sus propiedades dependen en gran medida al contenido de agua por su alta plasticidad. Estos suelos son comunes por su baja capacidad de soporte, la cual se define por medio del ensayo de CBR. Como menciona el manual de carreteras, un suelo el cual tenga como resultado un CBR menor a 6% se considera insuficiente o inadecuada, por lo que es conveniente realizar una estabilización de suelos [4]. Sin embargo, la estabilización depende del estabilizador, que en algunos casos puede producir contaminación indirecta al momento de su producción.

El otro punto del problema que se pretende solucionar es la mala gestión de RCD, en tanto a lo que son cerámicos. En 2017, en el mundo, la producción de azulejos alcanzó una cifra de 13 552 millones de metros cuadrados, suponiendo un incremento de 2.2% con relación a 2016 y un 3% para el periodo de 2013-2017. Dicho incremento provino principalmente de Asia, exactamente en China con 6 400 millones de metros cuadrados, aportando 47.2% a la producción mundial [5]. Dicho aumento, viene de la mano con mayor cantidad de residuos, lo que provoca mayor contaminación para el medio ambiente en casos como Perú, que aún no tiene una buena disposición final de residuos de construcción y demolición (RCD) en comparación con países europeos.

En el Perú, en el año de 2008, según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) indica que se generaron 5 663 062 Toneladas de RCD, de lo cual, un 54% de la composición es de ladrillos, azulejos y otros cerámicos, lo cual equivale a 3 058 053.48 toneladas de residuos [6]. Dichos residuos, en su mayoría son ubicados en una disposición final o abandonados sin estar sometidos a una economía circular, lo cual sería de mucha ayuda, ya que se podría reciclar gran parte de estos residuos, generando menos contaminación.

Por estos motivos, la presente investigación analizará las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos adicionando polvo de restos de baldosa cerámica con el fin de mejorar su calidad. De igual forma, este enfoque pretende disminuir la cantidad de restos de cerámica generados en las diversas obras, disminuyendo así su impacto sobre el medio ambiente y promoviendo una economía circular, que con el pasar de los años, en lugar de ser una alternativa, se está volviendo una necesidad. En este contexto, nace la pregunta del problema: ¿De qué manera la adición de polvo de restos de baldosa cerámica influye en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos a nivel de subrasante?

En cuanto a la justificación técnica de la investigación se pretende analizar cuál es el comportamiento de un suelo arcilloso incorporando polvo de restos de baldosa cerámica, con el fin de obtener buenos resultados en sus propiedades físicas y mecánicas, para que no sea un peligro al momento de realizar cualquier obra vial. De la misma forma, la justificación económica alude que en gran parte de las obras de edificación se usa la cerámica por sus propiedades físicas y estéticas, donde el restante del material usado es, en su mayoría, desechado. Teniendo esto en cuenta, se pretende moler estos restos hasta que sus partículas sean aptas para realizar una estabilización a nivel de subrasante. Asimismo, el costo del estabilizante podría ser menor o nulo, ya que la adquisición de este sería sin cargo. Por otro lado, la justificación ambiental de la investigación señala que, según el MVCS en su reporte de 2007, indicó que el departamento de Lambayeque generó 222 102 toneladas de RCD. Siendo la

cerámica, juntos a ladrillos y azulejos, el residuo predominante con un 54%, equivalente a 119 965.08 toneladas [6]. Por ello, gran parte de los RCD, son cerámica la cual terminaría en un botadero y no tendría uso alguno. Por lo cual, la propuesta de utilizarla como estabilizante sería buena. En el aspecto social, la estabilización con polvo de restos de cerámica sería una gran ayuda por su bajo coste al momento de tratar con las carreteras en Chiclayo. Puesto que, como se ha visto en los últimos años, gran parte de las carreteras han sido afectadas por las lluvias. De esta manera, al usar este estabilizante para tratar la subrasante de las carreteras, podría disminuir parcialmente el problema ya mencionado. Por lo tanto, la población se vería beneficiada al no tratar con carreteras en mal estado.

Considerando la formulación del problema, en tanto al estado situacional de las vías, se tiene como objetivo general del presente estudio: analizar las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos adicionando polvo de restos de baldosa cerámica en subrasante. Dicho análisis, se pretende realizar mediante objetivos específicos que servirán para ejecutarlo. Estos son: determinar las propiedades del polvo de restos de baldosa cerámica que se adicionará al suelo mediante ensayos químicos para comprobar la composición química de la muestra que se va a adicionar, caracterizar las muestras de suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTO, determinar el ensayo de Proctor y California Bearing Ratio (CBR) al suelo con y sin la adición de polvo de restos de baldosa cerámica en porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12%; realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de la muestra patrón y la muestra modificada; y realizar un análisis comparativo del polvo de restos de baldosa cerámica para estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con otras metodologías.

## **Revisión de literatura**

### ***Antecedentes***

#### ***Antecedentes Internacionales***

Mora [7] afirma que los suelos con mayor densidad son sólidos y poseen mejor resistencia ante una erosión. En cambio, en los suelos arcillosos muy plásticos, la humedad y porosidad son maleables al aumentarse la saturación; es decir, puede cambiar de estado sólido a líquido cuando el agua cubre este estrato. Por ello, estos suelos tienen un  $CBR \leq 6\%$  y es necesario estabilizar este estrato. De esta manera, con el fin de mejorar los suelos expansivos, se utilizarán cerámica y hormigón reciclados triturado. Para el procedimiento se utilizó cerámica triturada y se añadió proporciones de 5%, 25%, 45% y 55% en las mezclas de suelos plásticos expansivos para mejorar su plasticidad. Posteriormente, se realizó el

ensayo de peso unitario para la cerámica, donde se obtuvo un valor de  $1\,230\text{ kg/m}^3$  para el peso unitario suelto y  $1\,268\text{ kg/m}^3$  para el peso unitario compactado. Después, se realizaron los ensayos de clasificación en 4 muestras con los porcentajes anteriormente mencionados. Donde la cuarta mezcla de 55% de cerámica triturada y 45% de arcilla, fue la que cumplió con las especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). A esta mezcla se realizaron ensayos de Proctor y CBR, dando como resultado un límite líquido de 33%, índice de plasticidad de 8%, una densidad máxima de Proctor de  $1\,848\text{ Kg/m}^3$ , un CBR de 31.7% al 100% de su densidad y una expansión del 1.4%. Estos resultados cumplen con los requerimientos establecidos, aunque la muestra de cerámica triturada es la que tiene mayor porcentaje de esta.

Akshaya [8], en su artículo de revista, menciona que los suelos expansivos son aquellos que se hinchan significativamente al entrar en contacto con el agua y se encogen cuando el agua sale. Debido a esto, se producen daños en diversas estructuras de ingeniería civil cimentados sobre ellos. Debido a esto, el propósito es investigar los efectos del polvo cerámico residual en las propiedades índice (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad), propiedades de compactación (densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo), resistencia a la compresión libre, presión de hinchamiento de un suelo expansivo, relación de carga de y parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción interna). Se realizaron 7 mezclas con adición de polvo cerámico residual de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% en suelos expansivos arcillosos. Como resultado de los ensayos del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad disminuyen independientemente del porcentaje de adición de polvo. La adición del 30%, de polvo, cambia el suelo del grupo CH (arcilla inorgánica de alta plasticidad) al grupo CL (arcilla inorgánica de baja a media plasticidad). La densidad seca máxima aumenta, al igual que la resistencia a la compresión, y el contenido de humedad óptimo disminuye a medida que aumenta el porcentaje de adición de polvo de cerámica. El CBR aumenta con la adición del polvo de cerámica, teniendo el mayor porcentaje de CBR cuando se adicionó un 30% de polvo de cerámica, con un valor de 4%, teniendo un aumento de 150% a comparación del valor inicial de la mezcla sin la adición (1.6%). El valor de la cohesión disminuye y el ángulo de fricción interna aumenta a medida que se adiciona más porcentaje de polvo. Finalmente, el hinchamiento disminuye a más cantidad de cerámica. Asimismo, se realizó un análisis económico donde se menciona que adicionando 30 de polvo de cerámica para reforzar la subrasante, se tiene un ahorro sustancial en el coste de construcción.

Pankaj y Suresh [9], afirma que los suelos arcillosos crean muchas dificultades en las actividades de construcción por su comportamiento de hinchamiento y contracción. Los cambios volumétricos en estos suelos son controlados por el contenido de agua, porcentaje de vacíos, minerales y presencia de arcillas. De esta manera, la estabilización es un enfoque para solucionar los inconvenientes asociados con suelos arcillosos mejorando sus propiedades geotécnicas. Por ello, el propósito del estudio experimental es evaluar el comportamiento mecánico y microestructural integral de suelos arcillosos adicionando como estabilizante residuos cerámicos con porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%. Para esto, se evaluaron los límites de Atterberg, compactación, prueba de resistencia a la compresión no confinada, CBR y presión de hinchamiento. En primer lugar, en el ensayo de límites de Atterberg se llegó a la conclusión que el aumento de proporción de residuos de cerámica redujo el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) de los compuestos de arcilla, dicha disminución se atribuye a la naturaleza no expansiva de las partículas cerámicas. En segundo lugar, los parámetros de la compactación del suelo mediante la incorporación de cerámica mejoraron notablemente, donde el peso unitario seco máximo aumenta de 17.2 kN/m<sup>3</sup> a 18.25 kN/m<sup>3</sup>; y el contenido óptimo de agua disminuye de 18% a 13% con la incorporación del 30% de restos de cerámica. En tercer lugar, en el ensayo de CBR un aumento de 9.5% a 24% con la adición del 30% de residuos cerámicos, aumentando así aproximadamente 150% más a comparación del suelo sin la adición de estos restos.

### ***Antecedentes Nacionales***

Ccatamayo [10], asegura que, en el distrito de San José de Quero, región de Junín, su vía principal se encuentra en pésimas condiciones, por lo que se puede observar una inapropiada organización de tránsito, debido a la presencia de suelos finos como son los limos y arcillas, lo que damnifica directamente a los pobladores ya que se ve afectado el desarrollo económico. De igual manera, las lluvias torrenciales han empeorado la situación. Por esto, el estudio realizado pretende determinar el efecto de residuos cerámicos; en porcentajes de 4%, 6%, 8% y 10%, en las propiedades físicas (límites de Atterberg) y mecánicas (CBR y Proctor modificado) respecto al peso seco de la muestra. Al analizar todas las muestras, se llega a la conclusión que el 8% de residuos de restos cerámicos da resultados propicios. Dentro de las propiedades físicas, el límite líquido se redujo de 34.75% a 28.29%; el límite plástico, por el contrario, aumentó de 15.82% a 17.97%; y finalmente, el índice de plasticidad se redujo de 16.78% a 10.46%. Por otro lado, en las propiedades mecánicas, el CBR al 95%=3.86% adicionando 4%, 6%, 8% y 10%, da como resultado 7.58%, 10.68%,

11.54%, 9.12% respectivamente, teniendo así que la muestra con adición del 8%, sería la mejor opción, aumentando un 198.96% respecto a la muestra patrón. Es de suma importancia mencionar que la investigación es cuasi experimental, dado que el diseño planteado permitió trabajar con muestras y variables de manera conveniente para mejorar resultados. Debido a esto, se realizaron los ensayos de laboratorio ya mencionados.

Según Bravo [11], en los últimos años el Perú ha incrementado su producto bruto interno de modo lineal; sin embargo, este crecimiento macroeconómico no ha sido homogéneo en todos sus departamentos, por lo que en práctica los departamentos no se desarrollan de la misma manera, debido a esto el gobierno debe dividir sus economías por medio del cambio productivo de bienes y servicios. Por ello, urge una infraestructura vial donde se construyan nuevas vías y realizar mantenimiento a las que ya se encuentran en su necesidad. La investigación busca solucionar la necesidad en la que se presentan actualmente la estructura vial inferior en Perú, puesto que el tránsito elevado requiere de una demanda alta ante la calidad del pavimento. Por esto, el proyecto investigará las propiedades mecánicas de la materia granular en la base para pavimentos modificados adicionando residuos de porcelanato y cerámico en porcentajes de 5%, 10% y 15%, con el fin de mejorar las propiedades, mejorando la composición reformada y proponer alternativas de solución al gran inconveniente ambiental que se da por la contaminación en el sector de construcción. Para lo cual, se realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas: Límites de Atterberg a muestras de cerámica y porcelana, un afirmado para base sin adición de estabilizante y a un afirmado para base reemplazando por estos de cerámica y porcelanato; asimismo, se realizará un ensayo comparativo usando ensayos de corte directo de una muestra patrón y un afirmado para base granular; finalmente, se llevará a cabo un análisis comparativo del CBR, máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad entre la muestra patrón y en la muestra con adición de residuos de porcelanato y cerámico. En resultados; para índice de plasticidad, se obtuvo que con la adición de 5% de residuos de cerámico el IP incrementó un 25% con relación a la muestra patrón; de la misma manera, la adición de 5% de residuos de porcelanato aumentó un 25% IP. En el ensayo de corte directo, existe un incremento de esfuerzo de corte respecto al suelo patrón. En el ensayo de CBR, la adición de porcelanato incrementó 6.17%, 9.87%, 9.87% y con la adición de residuos de cerámica incrementó 4.93%, 6.17%, 3.70% con respecto a los porcentajes de adición, teniendo que el porcentaje adecuado de porcelanato y cerámica es de 10%.

### ***Bases teóricas***

## Suelos

### Definición

La norma CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes menciona que el suelo son todos los agregados naturales de partículas granulares y cohesivas, las cuales pueden dividirse por medios mecánicos o agitación de agua [12]

Por otro lado, Rico [13], menciona que el suelo es una agrupación de partículas orgánicas e inorgánicas sujeta a un conjunto predeterminado y propiedades que varían vectorialmente. Simboliza todo material terroso, desde un suelo con desperdicio, hasta areniscas cementadas o lutitas frágiles; el agua es de suma importancia en sus propiedades mecánicas, puesto que se considera como parte de este.

### Origen

Según González [14], los suelos se originan en los macizos rocosos ya existentes que forman la roca madre, la cual tras ser sometida a acciones ambientales disgregadoras de la erosión en 3 facetas: física, química y biológica.

La faceta física está relacionada con los cambios de temperatura y el agua; la química es la originada por fenómenos de hidratación, disolución, oxidación y cementación; y finalmente la biológica es producto de actividad bacteriana al mezclar partículas de origen fisicoquímico.

### Propiedades

El Suelo es un conjunto de materiales proporciones sólidas, líquidas y gaseosas, donde esta adecuada relación determina su finalidad. La proporción adecuada de estos componentes dictamina una serie de características tanto físicas como mecánicas: textura, permeabilidad, porosidad, consistencia, estructura, color y drenaje [15].

En el ámbito de carreteras, estas propiedades son mencionadas en el Manual de Carreteras, el cual menciona las siguientes:

- **Granulometría**

La granulometría permite averiguar las propiedades mecánicas de los suelos a partir de su descripción de tamaños. En suelos gruesos, la granulometría puede determinarse por cribas; en tanto a su consistencia, se evalúa por tamaños y esto puede revelar sus propiedades físicas del material. En la actualidad, el cribado es la

principal técnica para efectuar curvas granulométricas, contando con una amplia variedad agrupaciones de suelo que se diferencian en sus tamaños [13].

En el ámbito nacional, la elaboración de muestras en seco para el análisis granulométrico se encuentra en el ensayo MTC E-106. Dicho ensayo tiene como finalidad que las muestras de suelo percibidas de campo se preparen en seco y determinar las propiedades del suelo [16]. Además, el tamiz que se usa va desde el de 3" (75.00 mm) hasta la N° 200 (0.075 mm).

La división de partículas se muestra a continuación [4]:

*Tabla 01: Clasificación de los suelos según tamaño de partículas*

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Manual de Carreteras

- **Plasticidad**

Como la granulometría no proporciona la suficiente información, se proporcionan unos límites que dictaminan la consistencia del suelo. Estos límites fueron definidos por Atterberg, los cuales se basan en la retracción que separa el estado seco sólido y semisólido, estos límites son: límite plástico, límite líquido y límite semilíquido. Los límites que se trabajan en la caracterización de suelos son el plástico y líquido [14]. El límite líquido (LL) se halla cuando la muestra de tierra pasa de la fase semilíquida a una plástica y logra manipularse sin romperse. Por otra parte, el límite plástico (LP) se presenta cuando el suelo pasa de una consistencia plástica a semisólida y se fractura.

La relación que hay entre estos dos límites se refleja en el índice de plasticidad, el cual numéricamente es igual a la diferencia del límite líquido y el plástico [13].

*Tabla 02: Clasificación de los suelos según índice de plasticidad*

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP > 7$		
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Carreteras

- **Humedad Natural**

Guarda relación directamente con la resistencia de los suelos y la densidad que presentan a nivel de subrasante. El ensayo que determina la humedad natural es el MTC E-108. Esta propiedad permite hacer un análisis comparativo entre la humedad tendrá en los ensayos de Proctor para obtener el CBR (ensayo MTC E-132) del suelo. Si la humedad natural es mayor a la óptima se podrá aumentar la energía de compactación [16].

- **Gravedad específica**

Este concepto está directamente relacionado con la relación de fase de los suelos, como lo es la relación de vacíos y el grado de saturación. Esta relación se calcula multiplicando la gravedad específica del suelo a emplear con la densidad del agua según el método de ensayo estándar para la gravedad específica de los sólidos de suelo mediante picnómetro de agua (ensayo MTC E 113) [16].

## **Clasificación**

La clasificación será de acuerdo con la metodología para la elaboración de vías como lo menciona el Manual de Carreteras, puesto que se utilizará obligatoriamente AASHTO y SUCS [4].

- **Clasificación mediante el sistema AASHTO M-145**

Este sistema clasifica los suelos en siete grupos (A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7) según su plasticidad y granulometría.

Los suelos con alto contenido de partículas granulares donde no más del 35% pasa por el tamiz N° 200 (0.075 mm) se consideran en el grupo de suelos A-1 (piedras, gravas y arenas), el cual se subdivide en A-1-a y A-1-b; A-3(arenas finas) y A-2 (gravas y arenas limosas o arcillosas), dividiéndose en A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7. Por otro lado, los suelos finos donde más del 35% pasa por el tamiz N° 200 se considera en el grupo A-4 (suelo limoso), A-5 (suelo limoso), A-6 (suelo arcilloso) y A-7 (suelo arcilloso), el cual se subdivide en A-7-5 y A-7-6.

Los suelos que se encuentran dentro de los rangos de A-1-a y A-2-5 se consideran de excelente a buena calidad, mientras que los que se encuentran dentro del subgrupo A-2-5 y A-7-6 son de regulares a insuficientes. La tabla de clasificación es la siguiente [4]:

Tabla 03: Clasificación de los suelos basada en AASHTO M-145

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES 35% o menos que pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200)							SUELOS FINOS Mas de 35% pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
CLASIFICACIÓN DE GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
<b>Análisis granulométrico, % que pasa por el tamiz de:</b>												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	mín. 51									
0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx. 10	máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36	mín. 36
<b>Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40</b>												
Límite líquido (LL)				máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	mín. 41
Índice de plasticidad (IP)	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	mín. 10	mín. 11	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	mín. 11
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos Arcillosos		
Estimación general del suelo como subrasante	Excelente a bueno						Regular a insuficiente					

Fuente: Manual de Carreteras

- **Clasificación mediante la norma ASTM D-2487 (SUCS)**

Las bases de este esquema fueron propuestas por Casagrande a inicios de los años 40 y fue adoptado por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos de América, quien lo aplicó para la elaboración de autopistas [13].

Su clasificación se muestra en la siguiente tabla [16]:

*Tabla 04: Clasificación de los suelos SUCS*

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLO	NOMBRES		
SUELOS DE GRANULOMETRÍA GRUESA	Gravas	Gravas limpias	GW GP	Grava bien graduada, mezcla de grava Grava mal graduada, mezcla de arena y grava	
		Gravas con finos	GM GC	Grava con finos, mal graduada muy lomoso Mezcla bien graduada de grava, arena y arcilla	
			Arenas	Arenas Limpias	SW SP
		Arenas con Finos		SM SC	Materiales finos, muy limoso, mal graduada Arena arcillosa, mezcla de arena-arcillosa
	Arcillas y limos			Inorgánico	ML CL
		Orgánico			OL MH CH
			Materia y olor orgánico de color negro	P	OH

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales*

- **Correlación entre AASHTO y SUCS**

La reciprocidad que hay entre los tipos de suelos del sistema AASHTO y SUCS, se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 05: Correlación de tipos de suelos AASHTO y SUCS*

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM -D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A - 2	GM, GC, SM, SC
A - 3	SP
A - 4	CL, ML
A - 5	ML, MH, CH
A - 6	CL, CH
A - 7	OH, MH, CH

*Fuente: Norma CE. 010*

Esta correlación tiene el objetivo de asimilar la clasificación de suelos mediante la igualdad de los 2 sistemas que se están trabajando.

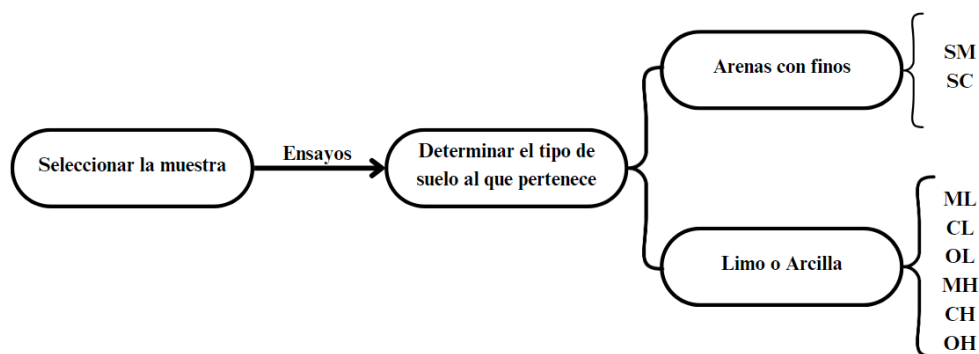
## Estabilización de suelos

Usualmente, el especialista enfrenta a una gran diversidad de suelos para realizar una obra predeterminada, cuyas características lo obligan a cambiar las características del material, con el fin de cumplir los requisitos requeridos. Teniendo así la estabilización de suelos, que se puede realizar por estabilización mecánica, por medios eléctricos, drenaje, etc [17].

En Perú, según el manual de carreteras, se sugiere estabilizar la subrasante cuando esta tiene un  $\text{CBR} \leq 6\%$ , puesto que el suelo es considerado como insuficiente e inadecuado con el fin de aumentar sus características físicas por medio de operaciones mecánicas o añadiendo elementos químicos, naturales o sintéticos [4].

Para efectuar la estabilización es necesario identificar en un principio el tipo de muestra que se trabajará. A continuación, se muestra una figura con el proceso de identificación del tipo de suelo:

*Figura 01: Proceso para identificar el tipo de suelo*



*Fuente: Elaboración propia*

## Suelos estabilizados con cemento

En la presente indagación, la definición de suelos estabilizados con cemento nos ayuda a comprender como las propiedades físicas y mecánicas del suelo mejoran en base al cemento tomando en cuenta sus propiedades químicas como un agente estabilizador. Los mejores suelos para estabilizar con el suelo cemento son los de tipo A-1, A-2 Y A-3, con finos de media a baja plasticidad. El cemento dentro de su composición cuenta con componentes concentrados como el óxido de calcio, dióxido de silicio, óxidos de aluminio y hierro y trióxido de azufre. [4]

El porcentaje de adición está especificado dentro de la guía complementaria referencial para la elección del tipo de aditivo estabilizante del Manual de carreteras [4]:

*Tabla 06: Guía complementaria referencial para la selección del tipo de estabilizador*

TIPO DE AGENTE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	SUELO	DOSIFICACIÓN	CURADO	OBSERVACIONES
CEMENTO	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 Y A-7	2%-12%	7 días	Diseño de mezcla en peso

Fuente: Manual de carreteras

### Correlación de cemento

Las baldosas cerámicas se elaboran principalmente con arcillas y caolines, los cuales se usan de manera pura mezclado con aditivos. Según la composición química de la baldosa cerámica usada en la presente investigación, esta tiene mayor contenido de óxido de calcio al igual que el cemento [18]. Por ello, se estableció una correlación entre los porcentajes operados en los antecedentes nacionales con la guía complementaria referencial para la selección del tipo de estabilizador (tabla 6) con el fin de tomar porcentajes que se encuentren dentro del rango que establece la norma del Manual de carreteras, teniendo así los porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12%.

*Tabla 07: Correlación de antecedentes con cemento como agente estabilizador*

ANTECEDENTES	GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE ESTABILIZADORES
4%, 6% y 8%	2-12%
4%, 6%, 8% y 10%	
<b>3%, 6%, 9% y 12%</b>	

Fuente: Elaboración propia

### Cerámica

El enfoque que se empleará es la cerámica usada para la elaboración de pisos (baldosa cerámica). Según Gómez [19], existen una gran variedad de piezas cerámicas usadas en pisos, se caracterizan por tener un grosor delgado en comparación con su ancho y largo, entre las más comunes se tienen las baldosas, losetas y zoclos.

### Baldosa de cerámica

Las baldosas son elementos planos de poco grosor elaboradas con arcillas, fundentes, calcio, sílice y otros componentes, que tras un largo proceso finalmente se realiza su cocción y enfriamiento. Entre los tipos de baldosa cerámica más conocida se tiene los azulejos, baldosas de gres o gres de porcelana cada uno con una composición química diferente [20].

## Propiedades físicas del suelo

- **Determinación del contenido de humedad de un suelo (MTC E 108)**

[16] La humedad o contenido de humedad de un suelo, no es nada más que la correlación entre el peso de agua al peso de las partículas expresada en porcentaje. El manual de ensayo de materiales menciona que este ensayo establece el peso del agua separada, para ello es necesario utilizar un horno controlado que se encuentre a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Además, se debe usar una balanza que sea de 0.01g para muestras no mayores a 200 gramos y de 0.1 g para no menores a 200 gramos. En relación a la muestra, el manual muestra que la cantidad mínima se determina en base al tamaño máximo de partícula que pase el 100% de los siguientes tamices:

*Tabla 08: Cantidad de muestra para el determinar el contenido de humedad de un suelo*

Máximo tamaño de partícula	Tamaño de malla estandar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad	
		a $\pm$ 0.1%	a $\pm$ 1%
2.00 mm o menos	2.00 mm (N°10)	20.00 g	20.00 g
4.75 mm	4.76 mm (N°4)	100.00 g	20.00 g
9.50 mm	9.525 mm (3/8")	500.00 g	50.00 g
19.00 mm	19.05 mm (3/4")	2.50 kg	250.00 g
37.50 mm	38.10 mm (1 1/2")	10.00 kg	1.00 kg
75.00 mm	76.20 mm (3")	50.00 kg	5.00 kg

Fuente: Manual de ensayo de materiales

El objetivo de este ensayo es hallar el contenido de humedad del suelo mediante el secado de la muestra húmeda natural hasta un peso seco constante en un horno normalizado controlado a  $110 \pm 5$  °C durante 24 horas. Asimismo, se debe considerar el peso del recipiente o tara utilizado. Posterior a ello, se deja en reposo a una temperatura ambiente hasta que se enfríe para realizar los cálculos correspondientes [16]. La determinación del contenido de humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$W(\%) = \frac{(M_h - M_s)}{M_s} \times 100$$

Donde:

- W : Contenido de humedad
- M<sub>h</sub> : Muestra húmeda
- M<sub>s</sub> : Muestra seca

- **Análisis granulométrico de suelos por tamizado (MTC E 107)**

El ensayo de análisis para determinar la granulometría del suelo [16], consiste en establecer cuantitativamente la colocación de tamaños de partículas de la muestra. Se usan una serie de tamices hasta el N°200 (0.074 mm). Como dato importante se menciona que si más del 50% del material pesado es frenado por el tamiz N°200, la muestra tendrá una composición granular; sin embargo, si más del 50% del material es lavado por la malla N°200 el suelo se considera como material arcilla. Como el manual de ensayo de materiales lo indica se usaron los tamices de malla cuadrada N°4, N°10, N°20, N°40, N°50, N°100 y N°200.

*Tabla 09: Tamices para ensayo de granulometría por tamizado*

<b>Tamices</b>	<b>Abertura (mm)</b>
3"	75.000
2"	50.800
1 ½"	38.100
1"	25.400
¾"	19.000
3/8"	9.500
N°04	4.760
N°10	2.000
N°20	0.840
N°40	0.425
N°60	0.260
N°140	0.106
N°200	0.075

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales*

En tanto a la muestra, el peso de esta se basará del tamaño máximo de partículas como se muestra a continuación.

*Tabla 10: Peso de la muestra por diámetro nominal de partículas*

<b>Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)</b>	<b>Peso mínimo aproximado de la porción (g)</b>
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 ½")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

*Fuente: Manual de Ensayo de Materiales*

Para empezar con el ensayo de laboratorio se estableció que el diámetro nominal del suelo era menor a 3/8” por lo que se procedió a pesar 500.00 gr de suelo para cada calicata. Posterior a ello, se lavaron las muestras secas por la malla N°200, el restante se dejó secar 24 horas para empezar por el tamizado y su respectivo pesaje.

- **Muestreo de suelos y rocas (MTC E 101)**

El ensayo de muestreo de suelos y rocas [16], tiene como propósito hallar las circunstancias de los suelos y rocas; con el fin de establecer procedimientos que permitan el adecuado manejo de suelos y rocas para establecer la analogía de los datos de las muestras como lo es el peso específico, permeabilidad, resistencia, gradación y plasticidad; y de las rocas como la resistencia, morfología, etc.

Los perfiles estratigráficos que se deberán usar son los mismo mencionados en la clasificación de suelos SUCS (tabla 4)

- **Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua (MTC E 113).**

[16] Este ensayo pretende proporcionar un método estándar para establecer la gravedad específica de suelos y agregados, con el fin de que aplicación sea lo más correcta posible en tanto a la ingeniería, especialmente a la construcción y diseño de carreteras e infraestructuras.

Después de dejar reposando la muestra a temperatura ambiente, se procede a realizar el ensayo. En primer lugar, se pesará la fiola utilizada por cada calicata; seguidamente, se toma el peso del agua más la fiola. Finalmente, se toma el peso de la fiola, más 50.00 gr de muestra por calicata tamizada por la criba N°10 y el peso del agua en conjunto después de estar sometida a la bomba de vacío. Con estos datos se podrá determinar la gravedad específica (gr/cm<sup>3</sup>) del suelo por medio de la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{M_s}{(V_w - V_s)}$$

Donde:

- $G_s$  : Gravedad específica del suelo
- $M_s$  : Muestra de suelo seco
- $V_w$  : Volumen de agua desplazada
- $V_s$  : Volumen del suelo

- **Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110)**

El propósito del ensayo [16], es hallar el contenido de humedad indicando en porcentajes, para esto la muestra se encuentra entre el estado líquido y plástico. En primer lugar, se debe tamizar la muestra natural totalmente libre de humedad por la malla N°40 (425  $\mu\text{m}$ ); luego se pesó 200.00 g de muestra para cada calicata y se decidió saturar la muestra con un componente destilado (agua) hasta tener una mezcla homogénea parecida a una pasta. Esta mezcla se dejó en reposo durante 24 horas en un ambiente natural de 20°C a 25°C.

Transcurrido el tiempo mencionado, la mezcla se ubicó en la copa de Casagrande cubriendo la copa de latón a manera que esta se esta se encuentre a 180° aproximadamente, posteriormente se dividió la muestra en la copa con ayuda de un anclador para empezar con los golpes correspondientes como indica el ensayo establecido en el MTC E 110 y se hizo el mismo procedimiento 3 veces por muestra y se procedió a calcular los datos correspondientes. Este procedimiento según la norma es el denominado como multipunto, puesto que las muestras por calicata son mayores a uno y se determina mediante una gráfica de recta.

- **Determinación del límite plástico (LP) de los suelos e índice de plasticidad (IP) (MTC E 111)**

La finalidad que tiene este ensayo es conocer la humedad más reducida para que se puedan formar barras de suelo de 3.20 mm (1/8") de espesor. Para empezar con el ensayo se toma parte de la mezcla saturada transcurrido el tiempo de reposo y se forman barras de muestra de un espesor de 3.20 mm. Se realizó este procedimiento una vez para cada calicata según los lineamientos establecidos en el MTC E 111. El límite plástico se calcula con la siguiente fórmula:

$$LP = \frac{Mh}{Ms} \times 100$$

Donde:

- LP : Límite plástico
- Mh : Muestra húmeda
- Ms : Muestra seca

El índice plástico es la resta entre el límite líquido y plástico.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

- IP : Índice de plasticidad
- LL : Límite líquido
- LP : Límite plástico

Este índice será de ayuda para determinan el suelo que se está trabajando mediante la clasificación de suelos según la plasticidad (tabla 2) dado por el Manual de carreteras [13].

### **Propiedades mecánicas del suelo**

- **Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada Proctor modificada (MTC E 115) [16]**

Este ensayo se propone compactar el suelo usando una energía modificada de 2700 kN-m/m<sup>3</sup>. A partir de ello, se pretende determinar contenido de humedecimiento de la muestra y máxima densidad seca de los suelos mediante una curvade golpes en moldes de 4 a 6 pulgadas de diámetro con un piso de 44.5 N que cae a una elevación de 18 pulgadas, logrando así la energía modificada ya mencionada. Según la norma, existen 3 métodos para realizar el ensayo, variando entre ellos el diámetro de 4 para los 2 primeros métodos y de 6 para el método c; la muestra que no es retenido por el tamiz de 9.50 mm, 4.75 mm (N°4) y de 19.00 mm (3/4"); el número de golpes, que al igual que los diámetros es el mismo para el método a y b (25 golpes) y de 56 golpes para el método c. Sin embargo, lo que tienen en común los 3 métodos es el número de capas.

El método a usar se especifica dentro de la norma, considerando que para el método b más del 20% del peso de muestra es almacenado por el tamiz N°4 y otro 20% o menos es retenido por el tamiz de 9.50 mm (3/8"); el método c menciona que cuando más del 20% de material es almacenado por la malla de 9.50 mm (3/8") y menos del 30% es almacenado por el tamiz de 19.00 mm (3/4") se usa esta metodología; sin embargo, en caso de que la muestra no cumpla con ambas relaciones de debe realizar el método a.

Para realizar la prueba es necesario determinar el peso unitario seco del suelo mediante las siguientes fórmulas:

$$\rho_m = 1000 \times \frac{(M_t - M_{md})}{V}$$

Donde:

- $\rho_m$  : Densidad Húmeda del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)
- $M_t$  : Masa del espécimen húmedo y molde (kg)
- $M_{md}$  : Masa del molde de compactación (kg)
- $V$  : Volumen del molde de compactación (m<sup>3</sup>)

$$\rho_d = \frac{p_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

$$\rho_d = \frac{p_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

- $\rho_d$  : Densidad seca del espécimen compactado (Mg/m<sup>3</sup>)
- $W$  : Contenido de agua (%)

$$\gamma_d = 9.807 \times \rho_d$$

Donde:

- $\gamma_d$  : Peso unitario seco de la muestra compactada (kN/m<sup>3</sup>)

- **CBR de suelos (laboratorio) (MTC E 132)**

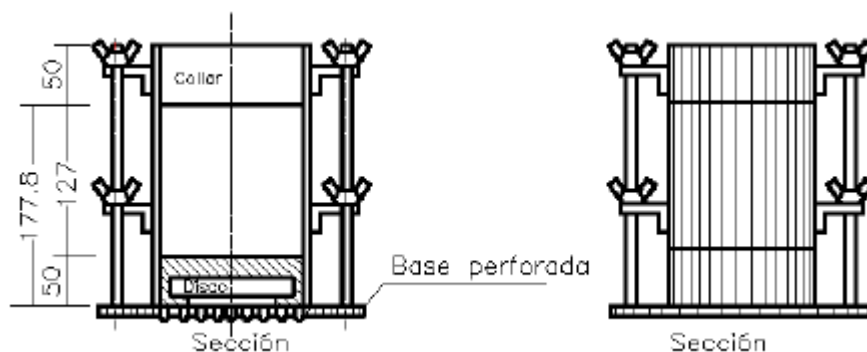
[16] Esta norma posee el propósito de determinar el CBR de suelos, esto se realiza en situaciones óptimas de humedecimiento y densidad; esto sirve para analizar la resistencia y la capacidad de soporte del suelo, además de ser fundamental para la construcción de pavimentos de calidad y otras estructuras viales.

En tanto a los equipos y materiales a utilizar, se debe tener en cuenta que la maquina con la que se penetrarán los especímenes son similares a las prensas usadas en los estudios de compresión. La diferencia entre la base y el cabezal debe regularse a una velocidad constante de 1.27 mm cada 60 segundos. De igual manera, dicha prensa debe tener una carga de 44.50 kN como mínimo donde se maneje una precisión de 44.00 N o menos como máximo.

Los moldes a utilizar son cilindros similares a los utilizados en el ensayo de Proctor modificado; sin embargo, el diámetro a manejar de los moldes es de 6.00" donde la

altura con el disco en la parte inferior (5.00") es de 7.00", de igual manera el cabezal o collarín será de 50" según el manual de ensayo de materiales.

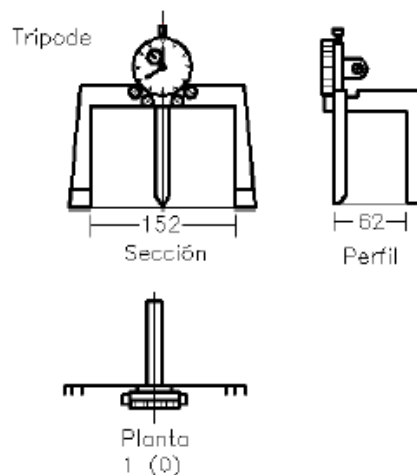
*Figura 02: Dimensiones del molde para realizar el ensayo de CBR*



*Fuente: Manual de ensayo de materiales*

También, se tiene que tener en cuenta un trípode el cual ayudará a medir la expansión de la muestra una vez se sumerja el espécimen en el agua a una altura de 7".

*Figura 03: Dimensiones del trípode para realizar el ensayo de CBR*

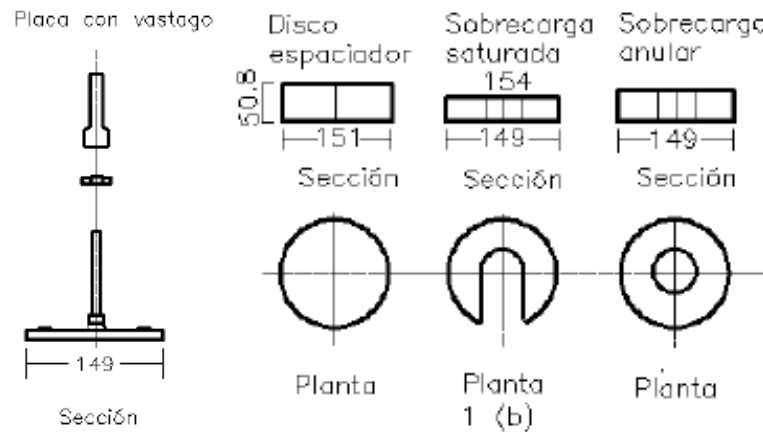


*Fuente: Manual de ensayo de materiales*

La muestra que se utilizará estará en base a los lineamientos descritos en el manual; el cual alude que deberá pasar por el tamiz N°4. Teniendo la muestra y la disposición de los equipos se procede a saturar la muestra con el contenido óptimo de humedad la mayor compactación y así tener la mayor densidad del suelo. Primero se debe armar el molde con el disco en la parte inferior y se procede a dividir la muestra en 5 mantos y con el pistón se darán 56 golpes por capa para la primera vuelta de CBR. Posterior a ello, se realiza el mismo procedimiento aplicando 25 y 12 golpes por capa. Una vez terminado el procedimiento se coloca la placa de vástago en la parte

superior del molde; el cual ha sido girado para que la parte de la rasante quede al nivel de la base del molde.

*Figura 04: Dimensiones de la plaza de vástago y las pesas para realizar el ensayo de CBR*



*Fuente: Manual de ensayo de materiales*

Con el trípode se procede a tomar las medidas correspondientes en cierto intervalo de tiempo para así medir la expansión del suelo con el agua. Una vez transcurrido 4 días y haber tomado la última lectura con el trípode se procede a penetrar el espécimen con las cargas anteriormente mencionadas. Las lecturas tomadas definirán la forma de la curva.

## **Materiales y métodos**

### **Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, ya que se pretende actuar frente a una realidad problemática aplicando los objetivos propuestos con el propósito de dar una solución inmediata. Gran parte de los datos que se van a tratar son a través de la recolección y análisis de datos, lo cual intenta contestar, en este caso, la pregunta del problema planteada y probar las hipótesis, por ello la investigación es cuantitativa. Con respecto a los resultados, se menciona que, si aportan evidencia a favor de la hipótesis, se crea confianza en la teoría que las sustenta; en caso contrario, la hipótesis se descarta y eventualmente pasará lo mismo con la teoría [21].

### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación es experimental pura [21], ya que se pretende probar una hipótesis usando una variable dependiente (polvo de restos de baldosa cerámica) en relación con una

variable independiente (suelo con adición de polvo de restos de baldosa cerámica en porcentajes de 3%, 6%, 9%, 12%), tomando en cuenta dos variables intervinientes (polvo de restos de baldosa cerámica en relación a su tamaño y propiedades químicas; y el suelo natural)

## **Población, muestra de estudio y muestreo**

### **Población**

La población es el conjunto de elementos o sujetos que serán objeto de estudio [21]. En este caso estaría conformada por el suelo arcilloso y el polvo de restos de baldosa cerámica en porcentajes de 3%, 6%, 9%, 12%.

### **Muestra de estudio**

Según la norma CE. 010 [22], la mínima profundidad de investigación será de 1.50 m por debajo de la subrasante y el mínimo número de puntos (calicatas) es 3. Así que, el número de puntos de muestreo empleadas para este estudio es de 3 con una profundidad de 2.00 metros, cuya repartición será a juicio del investigador. Asimismo, el espécimen está estructurado por el polvo de restos de cerámica.

### **Muestreo**

Para la investigación pretende tomar un punto de muestra no probabilístico ya que la elección de los elementos depende del criterio del investigador. Según la norma CE. 010 el número de muestras depende del tipo de vía que se pretende trabajar, el lugar de estudio se considera como una urbanización, por lo que se evaluará como una vía local.

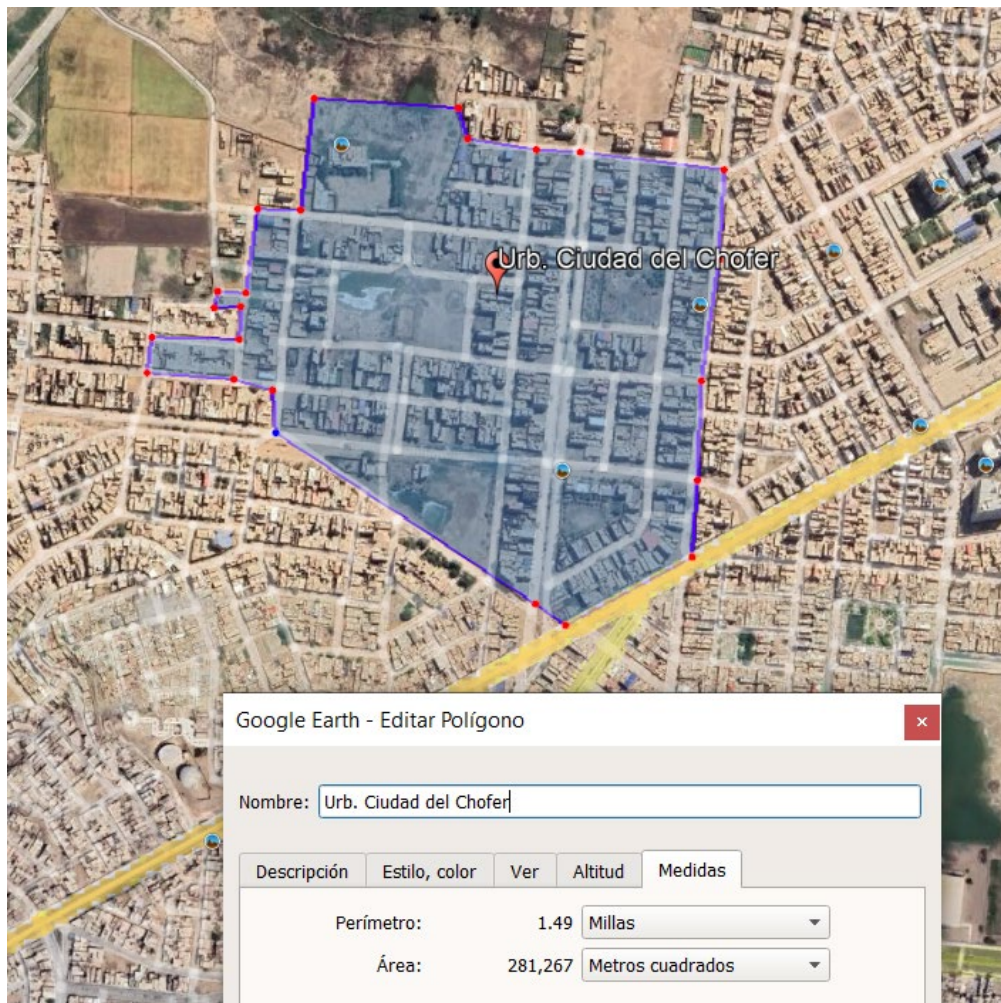
*Tabla 11: Puntos de investigación por tipo de vía*

<b>TIPO DE VÍA</b>	<b>NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Expresas	1 cada	1000
Arteriales	1 cada	1200
Colectoras	1 cada	1500
Locales	1 cada	1800

*Fuente: Norma CE. 010*

Según la tabla 6, a la vía local le corresponde hacer 1 calicata cada 1800 m<sup>2</sup>. Según datos otorgados por el INEI [23] en el mapa de pobreza monetaria donde se encuentran los límites de las cuadras del lugar de estudio, el área aproximada de la Urb. Ciudad del Chofer es de 281 267 m<sup>2</sup> como se observa en la siguiente imagen:

Figura 05: Área de la Urb. Ciudad del Chofer



Fuente: Google Earth Pro

Teniendo en cuenta el área, el total de calicatas o puntos de investigación es de 157 redondeando. Sin embargo, como es un muestreo no probabilístico donde se manejará una muestra por cuotas, se optará por realizar 3 calicatas, donde su distribución y ubicación se evidencian en la siguiente imagen:

*Figura 06: Distribución de calicatas*



*Fuente: Google Earth Pro*

*Tabla 12: Ubicación de calicatas*

<b>Ubicación de las Calicatas: Urb. Ciudad del Chofer</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Coordenadas</b>			
	<b>Geográficas</b>		<b>UTM (ZONA 17M)</b>	
	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
<b>Calicata N°01</b>	6°45'39.76"S	79°52'15.81"O	9252522.00 m S	624763.00 m E
<b>Calicata N°02</b>	6°45'40.33"S	79°52'10.92"O	9252513.00 m S	624821.00 m E
<b>Calicata N°03</b>	6°45'40.65"S	79°52'8.28"O	9252503.00 m S	624913.00 m E

*Fuente: Elaboración propia*

Por otro lado, con respecto a las muestras que se emplearán, dependerá de los ensayos que se realizarán, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 13: Número de muestras patrón

Propiedades	Ensayo	NÚMERO DE CALICATAS		
		1	2	3
Físicas	Análisis Granulométrico	1.00	1.00	1.00
	Clasificación de suelo	1.00	1.00	1.00
	Contenido de Humedad (%)	1.00	1.00	1.00
	Gravedad Específica	1.00	1.00	1.00
	Límite plástico	1.00	1.00	1.00
	Límite líquido	1.00	1.00	1.00
Mecánicas	Proctor Modificado	3.00	3.00	3.00
	California Bearing Ratio (CBR)	5.00	5.00	5.00
SUB TOTAL		14.00	14.00	14.00
<b>TOTAL</b>		<b>42.00</b>		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Número de muestras con adición de polvo de restos de baldosa cerámica en calicata 1 y 2

Propiedades	Ensayo	ADICIÓN (%)			
		3%	6%	9%	12%
Físicas	Límite plástico	1.00	1.00	1.00	1.00
	Límite líquido	1.00	1.00	1.00	1.00
Mecánicas	Proctor Modificado	3.00	3.00	3.00	3.00
	California Bearing Ratio (CBR)	5.00	5.00	5.00	5.00
SUB TOTAL		10.00	10.00	10.00	10.00
<b>TOTAL</b>		<b>40.00</b>			

Propiedades	Ensayo	ADICIÓN (%)			
		3%	6%	9%	12%
Físicas	Límite plástico	1.00	1.00	1.00	1.00
	Límite líquido	1.00	1.00	1.00	1.00
Mecánicas	Proctor Modificado	3.00	3.00	3.00	3.00
	California Bearing Ratio (CBR)	5.00	5.00	5.00	5.00
SUB TOTAL		10.00	10.00	10.00	10.00
<b>TOTAL</b>		<b>40.00</b>			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Número de muestras con adición de polvo de restos de baldosa cerámica en calicata 3

Propiedades	Ensayo	ADICIÓN (%)			
		3%	6%	9%	12%
Físicas	Límite plástico	1.00	1.00	1.00	1.00
	Límite líquido	1.00	1.00	1.00	1.00
Mecánicas	Proctor Modificado	3.00	3.00	3.00	3.00
	California Bearing Ratio (CBR)	5.00	5.00	5.00	5.00
SUB TOTAL		10.00	10.00	10.00	10.00
<b>TOTAL</b>		<b>40.00</b>			

Fuente: Elaboración propia

*Tabla 16: Número total de muestras*

<b>MUESTRA</b>	<b>CANTIDAD</b>
Muestra Patrón	42.00
Muestra con 3% de adición	30.00
Muestra con 6% de adición	30.00
Muestra con 9% de adición	30.00
Muestra con 12% de adición	30.00
<b>MUESTRAS TOTALES</b>	<b>162.00</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### **Criterio de selección**

Para esta investigación se utilizaron los siguientes criterios de selección:

- Los restos de baldosa cerámica serán provenientes de construcciones menores en la ciudad de Chiclayo, los cuales deben estar libres de impurezas para mantener la composición química de la baldosa de cerámica.
- El polvo de baldosa cerámica se dividirá en porcentajes de 3%, 6%, 9%, 12%, ya que en investigaciones nacionales preliminares se trabajaron con porcentajes similares donde se logró obtener resultados efectivos en las propiedades físicas y mecánicas de las muestras. Asimismo, estos rangos se encuentran dentro de los rangos que se describen en la guía complementaria referencial para la elección del tipo de aditivo estabilizante del Manual, puesto que la composición química de los restos de baldosa cerámica contiene mayor presencia de óxido de calcio (CaO) y óxido de sílice (SiO<sub>2</sub>)
- En lo que respecta al muestreo, este se trabajó en base a la norma CE. 010.

### **Hipótesis y operacionalización de variables**

#### **Hipótesis**

La incorporación de polvo de restos de baldosa cerámica en porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12% en suelos arcillosos logrará optimizar sus propiedades físicas y mecánicas.

#### **Operacionalización de variables**

Tabla 17: Operacionalización de variables

VARIABLE	VARIABLES DE ESTUDIO	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	
INDEPENDIENTE	Polvo de restos de baldosa cerámica	Dosificación en peso	Peso del polvo de restos de baldosa cerámica en porcentajes (3%, 6%, 9% y 12%) en relación con el peso de la muestra	Kg	Báscula	
					Suelo Natural	Propiedades físicas del suelo natural mediante ensayos normados
%	MTC E 111 (DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (L.P.))					
Propiedades mecánicas del suelo natural mediante ensayos normados	Proctor modificado	% de peso	NTP 339.141 (MÉTODO DE ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2 700 kN-m/m <sup>3</sup> (56 000	MTC E 115 (COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA 8PROCTOR MODIFICADA)		
	California Bearing Ratio (CBR)	%	NTP 339.145 (MÉTODO DE ENSAYO CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS DEN EL LABORATORIO	MTC E 132 (CBR DE SUELOS (LABORATORIO))		
INTERVENIENTE	Polvo de restos de baldosa cerámica	Propiedades químicas	Determinar químicamente las propiedades del polvo de restos de baldosa cerámica	-	Ensayo químico	
		Tamaño de partícula	Realizar la granulometría de los restos mediante la malla N° 200 (0.074 mm)	mm	Tamices	

<b>INTERVENIENTE</b>	<b>Suelo natural</b>	Propiedades físicas del suelo natural mediante ensayos normados	Análisis Granulométrico	%	NTP 400.012 (ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL)	MTC E 107 (ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO)
			Clasificación de suelos en el sistema SUCS Y AASHTO	%	NTP 339.134 (MÉTODO PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PROPÓSITO DE INGENIERÍA (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS))	MTC E 101 (MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS)
				%	NTP 339.135 (MÉTODO PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE)	
			Contenido de humedad	%	NTP 339.127 (MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO)	MTC E 108 (DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO)
			Limites de Atterberg	%	NTP 339.129 (MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS)	MTC E 110 (DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS)
		%		MTC E 111 (DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.))		
		Peso Específico relativo de las partículas sólidas de un suelo		NTP 339.131 (MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE UN SUELO)	MTC E 113 (MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA)	
		Propiedades mecánicas del suelo natural mediante ensayos normados	Proctor modificado	% de peso	NTP 339.141 (MÉTODO DE ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2 700 kN·m/m <sup>3</sup> (56 000	MTC E 115 (COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADA))
			California Bearing Ratio (CBR)	%	NTP 339.145 (MÉTODO DE ENSAYO CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS DEN EL LABORATORIO	MTC E 132 (CBR DE SUELOS (LABORATORIO))

*Fuente: Elaboración propia*

## **Técnica e instrumentos de recolección de datos**

### **Técnicas**

La investigación utilizará una observación directa, puesto que observará el fenómeno o suceso que ocurrirá en el ambiente donde se realizarán las pruebas (laboratorio) para determinar los datos y analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo con alto contenido de arcillas adicionando polvo de restos de baldosa cerámica en porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12%.

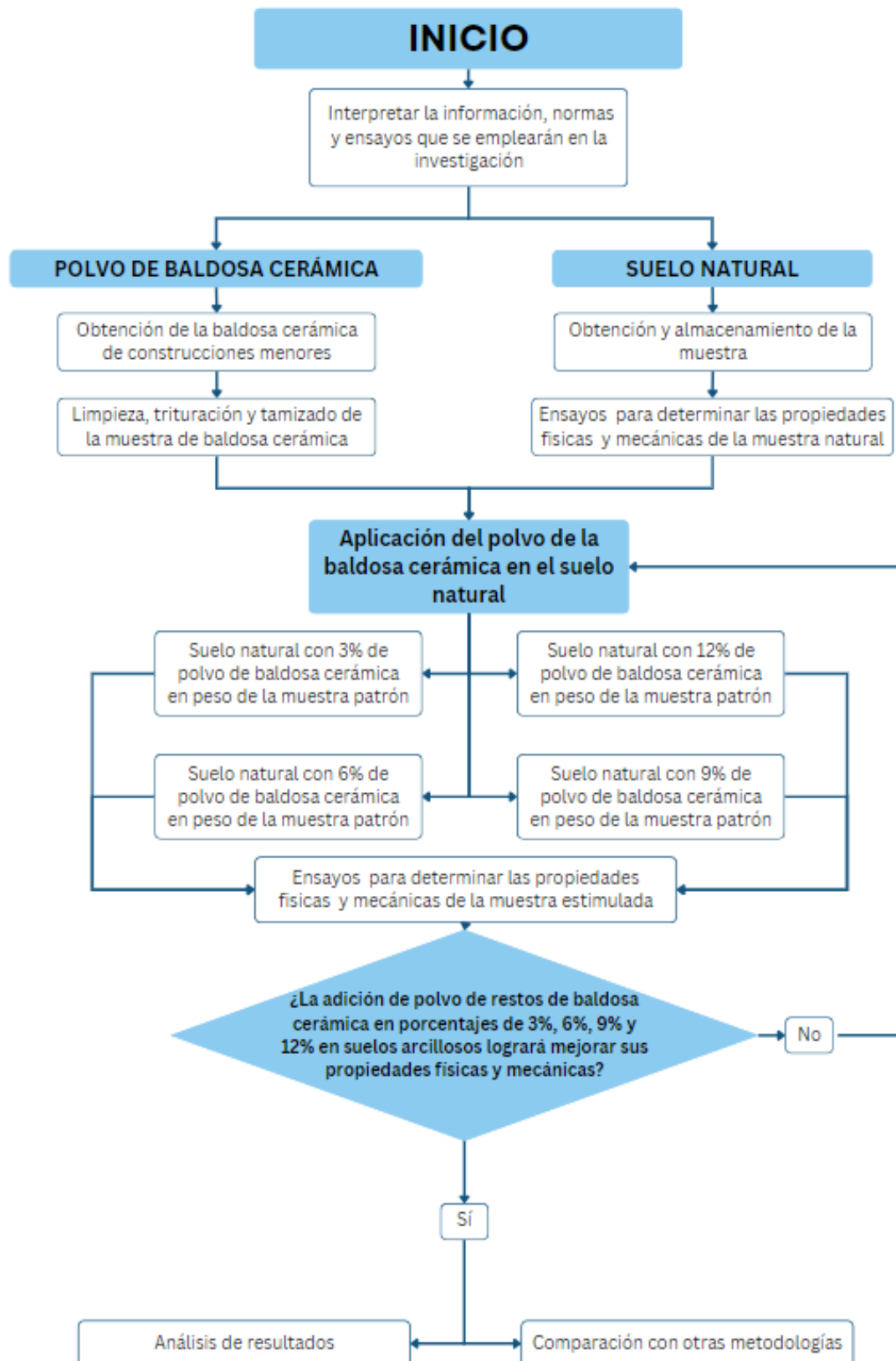
### **Instrumentos**

El instrumento por utilizar está sujeto al Manual de Ensayo de Materiales, que permitirá analizar los ensayos con el fin de determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso adicionando polvo de restos de baldosa cerámica en porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12%, así como a una muestra natural.

### **Procedimiento**

El procedimiento de la indagación se desarrollará de la siguiente manera:

Figura 07: Diagrama de flujo del procedimiento de investigación



Fuente: Elaboración propia

## 1. *Recolección de baldosa cerámica*

Se iniciará con la recolección de restos de baldosas de cerámica provenientes de construcciones menores en la ciudad de Chiclayo, los cuales deben estar libres de impurezas para mantener la composición química de la baldosa de cerámica. Posteriormente, se procederá a triturar los restos hasta conseguir el polvo para realizar su ensayo químico.

*Figura 08: Recolección de baldosa cerámica*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 09: Limpieza de baldosa cerámica*



*Fuente: Elaboración propia*

## 2. *Preparación de la muestra de baldosa cerámica*

- 2.1. Con un martillo se procedió a triturar de manera manual la muestra hasta un tamaño medio en un ambiente limpio con el fin de no contaminar la muestra con otros componentes químicos ajenos a la baldosa cerámica.
- 2.2. Con la ayuda del aparato de abrasión de los ángeles la muestra pasó de un tamaño medio a partículas de polvo y restos pequeños.
- 2.3. Finalmente, una vez retirada la muestra de la máquina de abrasión, se procede a pasarla por los tamices de 3/4" (19.00 mm), N°04 (4.75 mm) y N°40 (425µM) en ese respectivo orden con el fin de tener una mejor facilidad de trabajo.

*Figura 10: Proceso de preparación de la muestra de baldosa cerámica*

1. Trituración manual de la baldosa cerámica	2. Trituración de la baldosa cerámica con la máquina de abrasión de los ángeles	3. Tamizado de la muestra de baldosa cerámica
		

*Fuente: Elaboración propia*

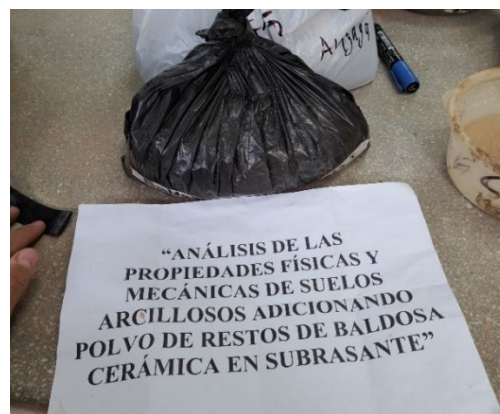
*Figura 11: Resultado final de la muestra de baldosa cerámica*



*Fuente: Elaboración propia*

2.4. Del resultado de tamizado de la muestra de baldosa cerámica obtenido, se pesa 500.00 g para realizar el análisis químico.

*Figura 12: Muestra para análisis químico*



*Fuente: Elaboración propia*

### **3. Obtención del suelo arcilloso en la Urb. Ciudad del Chofer**

Tras la visita a campo se determinó el lugar específico donde se realizarán las calicatas (Figura 03), teniendo en cuenta los rasgos y particularidades en la que se encuentra el tramo de estudio.

Posterior a ello, se ejecutaron los hoyos de las de los puntos de muestreo con retroexcavadora. La superficie de excavación fue de 1.20 m x 1.20 m, con una altura de 2.00 m. La muestra se tomó a partir de 0.50 m puesto que este estrato contaba con presencia de materia orgánica y exceso de arena.

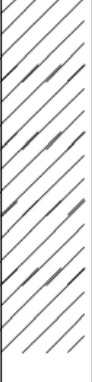
*Figura 13: Excavación para la obtención del suelo arcilloso*



*Fuente: Elaboración propia*


De esta manera, con los datos visuales de campo, se realizaron los registros de excavación o perfiles estratigráficos de cada una de los puntos de muestreo teniendo en consideración su profundidad, su textura, la presencia de humedad y otras características de sus propiedades físicas.

Tabla 18: Registro de excavación en calicata N°01

Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra N°	Símbolo	Clasificación SUC S	Descripción visual (IN-SITU)
0.50	A C I E L L O  A B I E R T O	M - 1		CL A-4 (9)	Arcilla de baja plasticidad, de consistencia blanda, estado humedo, sin problemas de colapso, color marrón claro Limite liquido : 26.8% Limite plástico : 18.0% Índice de plasticidad : 8.7% Humedad natural : 14.5%
2.00					

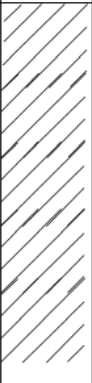
Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Registro de excavación en calicata N°02

Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra N°	Símbolo	Clasificación SUC S	Descripción visual (IN-SITU)
0.50	A C I E L L O  A B I E R T O	M - 1		CL A-4 (7)	Arcilla de baja plasticidad, de consistencia blanda, estado humedo, sin problemas de colapso, color marrón claro Limite liquido : 25.45% Limite plástico : 15.93% Índice de plasticidad : 9.51% Humedad natural : 12.64%
2.00					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Registro de excavación en calicata N°03

Profundidad 0.0 (cm)	Tipo de Excavación	Muestra N°	Símbolo	Clasificación SUC S	Descripción visual (IN-SITU)
0.50	A C I E L L O  A B I E R T O	M - 1		CL A-6 (8)	Arcilla Arenosa de baja plasticidad, de consistencia blanda, sin problemas de colapso Limite liquido : 29.00% Limite plástico : 16.49% Índice de plasticidad : 12.51% Humedad natural : 18.20%
2.00					

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la muestra por calicata fue almacenada en sacos en temperatura ambiente (de 20°C a 25°C).

*Figura 14: Almacenamiento de la muestra*



*Fuente: Elaboración propia*

Además, la tierra fue dispersada, puesto que debe estar seca para realizar los ensayos mecánicos. Por otro lado, 2 kilogramos de cada calicata fueron separados en bolsas antes de dejar el secado pertinente para realizar los ensayos de físicos de la muestra sin adición.

*Figura 15: Secado de la muestra arcillosa en un ambiente controlado*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4. Ensayos respecto a la muestra patrón para determinar sus propiedades físicas

Tabla 21: Ensayos para la muestra patrón (propiedades físicas)

Ensayos para la muestra patrón (Propiedades físicas)	Norma	
Análisis Granulométrico	NTP 400.012 (ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL)	MTC E 107 (ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO)
Clasificación de suelos en el sistema SUCS Y AASHTO	NTP 339.134 (MÉTODO PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PROPÓSITO DE INGENIERÍA (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS))	MTC E 101 (MUESTREO DE SUELOS Y ROCAS)
	NTP 339.135 (MÉTODO PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE)	
Contenido de humedad	NTP 339.127 (MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO)	MTC E 108 (DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO)
Límites de Atterberg	NTP 339.129 (MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS)	MTC E 110 (DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS)
		MTC E 111 (DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.))
Peso Específico relativo de las partículas sólidas de un suelo	NTP 339.131 (MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE UN SUELO)	MTC E 113 (MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS DE SUELO MEDIANTE PICNOMETRO DE AGUA)

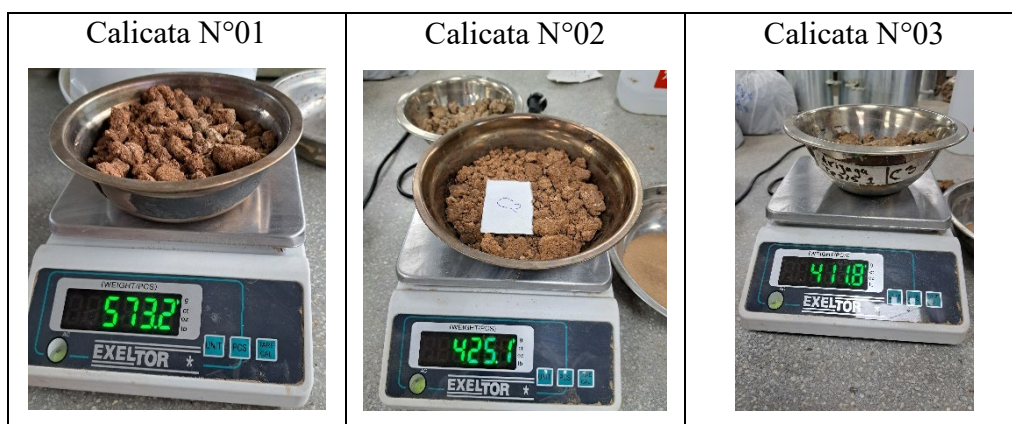
*Fuente: Elaboración propia*

Esta tabla ofrece en síntesis el tipo de ensayo que se va a realizar en tanto a las propiedades físicas de la muestra patrón tomando en cuenta las normativas vigentes que servirán de sostén para que el procedimiento, uso de materiales, equipos y herramientas sea el más adecuado con el fin de tener una mejor calidad de estudio y así cumplir con la hipótesis planteada. Asimismo, constituye el primer proceso que se planea realizar en la presente investigación para las siguientes líneas del trabajo.

- **Contenido de humedad**

Siguiendo con el método descrito en las bases teóricas se realiza el ensayo siguiendo todos los lineamientos indicados en el Manual de ensayo de materiales. Esto con el fin de seguir la directriz estandarizada y sencilla para el adecuado manejo del suelo.

Figura 16: Peso de las 03 muestras secas



Fuente: Elaboración propia

La muestra de las 3 calicatas tiene tonos de color un tanto distintos y a simple vista tiene una textura arcillosa arenosa. Se mantuvo el peso mencionado en el manual de materiales, en este caso debe ser mayor a 250.00 g. El horno se conservó constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y se dejó por un día dentro del mismo como se indica en la norma.

Una vez pesada la muestra humedecida y el peso de tara, se procedió a dejar la muestra en el hornillo controlado. Finalmente, se toma el peso de la muestra seca reposada a una temperatura natural y se anotaron los datos

Tabla 22: Datos para contenido de humedad de la muestra patrón

CÓDIGO	Und.	C-01	C-02	C-03
Wtara	gr	64.00	58.22	86.88
Wtara+Suelo húmedo	gr	646.90	471.48	470.94
Wtara+Suelo seco	gr	573.20	425.10	411.80

Fuente: Elaboración propia

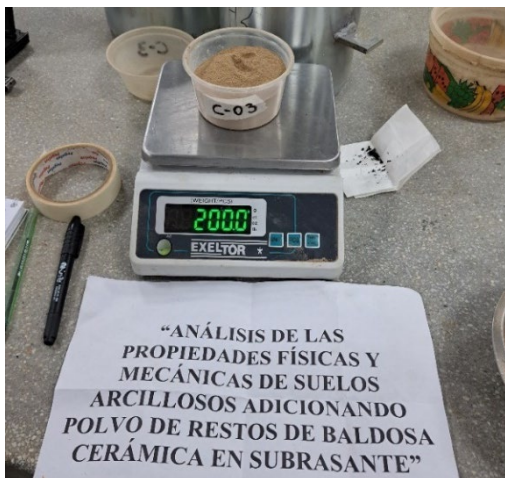
Estos datos son de suma importancia para hallar el contenido de humedecimiento del suelo, se siguieron todas las indicaciones establecidas en el manual con el fin de que el error que se pueda dar en el laboratorio por diversas condiciones sea mínimo. De igual manera, se controló el monitorio de los cambios de temperatura a lo largo del ensayo.

- **Limite líquido (LL)**

Según lo definido en el marco teórico referente al ensayo de límite líquido, se pesaron 200.00 g de muestra previamente secada en un horno a  $110 \pm 5$  °C y se procedió a realizar el método para obtener los datos del límite líquido de la muestra

por cada calicata tomando en cuenta el tamaño de las partículas previamente tamizadas.

*Figura 17: Muestras para realizar ensayo de límite líquido*



*Fuente: Elaboración propia*

Una vez pesada la muestra, se satura hasta que tenga una consistencia de pasta uniforme. La pasta se dejó reposando durante 24 horas en un ambiente con una temperatura controlada.

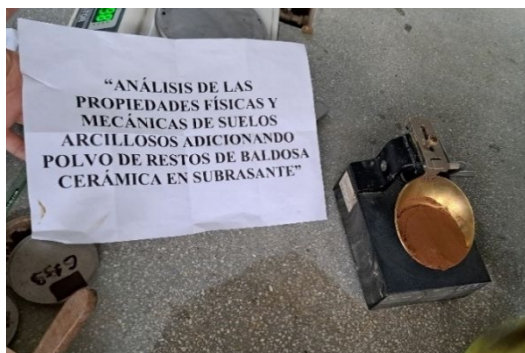
*Figura 18: Muestras saturadas para realizar los ensayos de límite líquido*



*Fuente: Elaboración propia*

Después del día transcurrido se procede a trabajar con la muestra saturada en la copa de Casagrande para dictaminar el límite líquido por el método de multipunto para obtener resultados más exactos.

Figura 19: Ensayo para determinar el límite líquido usando la copa de Casagrande



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos se evidencian en la siguiente tabla:

Tabla 23: Datos para límite líquido de la muestra patrón

CÓDIGO		Nº de golpes	Tarro+Suelo húmedo	Tarro+Suelo seco	Peso del tarro
CALICATA 1	C1-1	30	42.99	37.46	16.27
	C1-2	23	39.77	34.70	16.02
	C1-3	15	37.29	32.63	16.19
CALICATA 2	C2-1	30	28.33	24.11	7.13
	C2-2	22	29.59	25.05	7.50
	C2-3	11	30.01	25.02	7.26
CALICATA 3	C3-1	32	27.63	23.21	7.39
	C3-2	27	25.42	21.39	7.42
	C3-3	12	29.36	24.04	7.31

Fuente: Elaboración propia

Estos datos se determinaron mediante los criterios descritos en la norma para ser los más exactos posibles; los equipos y herramientas usados fueron de suma importancia al momento de determinar estos datos. El equipo más importante en este ensayo es la balanza, puesto que como se trabajan con gramos en 0.01 decimales el error de laboratorio puede reflejarse en gran medida al momento de determinar los datos y perjudicar los resultados.

- **Límite plástico (LP)**

Con los 200.00 g de muestra del límite líquido se realizó el límite plástico, se tuvo en cuenta que la muestra debe estar semiseca teniendo una textura plástica. Con esa fracción de muestra se realizan las barras de 3.00 mm como se alude en el marco teórico referente al manual de ensayo de materiales.

*Figura 20: Barras de 3.20 mm de diámetro para determinar el límite plástico*



*Fuente: Elaboración propia*

Los datos obtenidos se observan en la siguiente tabla:

*Tabla 24: Datos para límite plástico de la muestra patrón*

CÓDIGO		Tarro+Suelo húmero	Tarro+Suelo seco	Peso del tarro
CALICATA 1	C1-4	23.17	22.09	16.10
CALICATA 2	C2-4	19.65	17.95	7.28
CALICATA 3	C3-4	13.57	12.64	7.00

*Fuente: Elaboración propia*

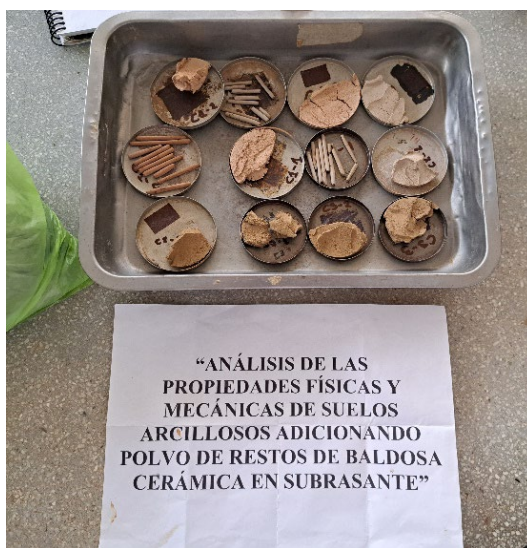
Al igual que en ensayo LL, el instrumento más importante en esta prueba es la balanza, como se trabajan datos de menor peso que en el límite líquido el nivel de cuidado al momento de realizar este ensayo es de suma importancia. Con los datos

como el peso de tarro a utilizar con el peso húmedo, el peso del tarro con el peso de la muestra seca y el peso propio de tarro; se puede determinar el límite plástico del suelo.

- **Índice de plasticidad (IP)**

Con los datos evidenciados en los ensayos de límite líquido y límite plástico se determina el índice de plasticidad.

*Figura 21: Muestras secas para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Análisis granulométrico**

El ensayo de granulometría se desarrolló conforme a lo descrito en el apartado de bases teóricas, considerando lo correspondiente a la muestra y al procedimiento, se procedió a pesar los 500.00 gramos de muestra seca tomando en cuenta el diámetro nominal de las partículas más grandes  $3/8"$ . Teniendo el peso, se empieza con el procedimiento descrito en la norma hasta la obtención de resultados.

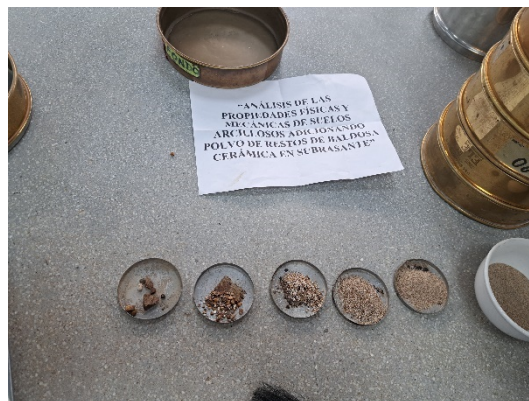
*Figura 22: Tamices usados para realizar el ensayo de granulometría*



*Fuente: Elaboración propia*

La muestra retenida será pesada y separada según el tamaño de partículas.

*Figura 23: Muestra tamizada de una de las calicatas*



*Fuente: Elaboración propia*

Una vez pesadas las muestras se procede a anotar los datos según el tipo de tamiz retenido y el peso respectivo por cada calicata como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 25: Datos obtenidos en el ensayo de granulometría por calicata

TAMICES		CÓDIGO		
		C1	C2	C3
(Pul)	(mm)	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO	PESO RETENIDO
3"	75.000	0.0	0	0
2 1/2"	63.000	0.0	0	0
2"	50.000	0.00	0	0
1 1/2"	37.500	0.00	0	0
1"	25.000	0.00	0	0
3/4"	19.000	0.00	0	0
1/2"	12.500	0.00	0	0
3/8"	9.500	0.00	0	0
1/4"	6.300	0.00	0	0
N°4	4.750	0.47	5.9	12.6
N°10	2.360	1.50	2.5	4.9
N°20	1.180	2.30	5.5	6.6
N40	0.600	1.70	11.2	10.6
N°50	0.300	1.80	10.8	10.3
N°100	0.150	8.50	65	59.6
N°200	0.075	16.50	41.7	40.7
< N° 200	FONDO	407.70	303.3	307.3

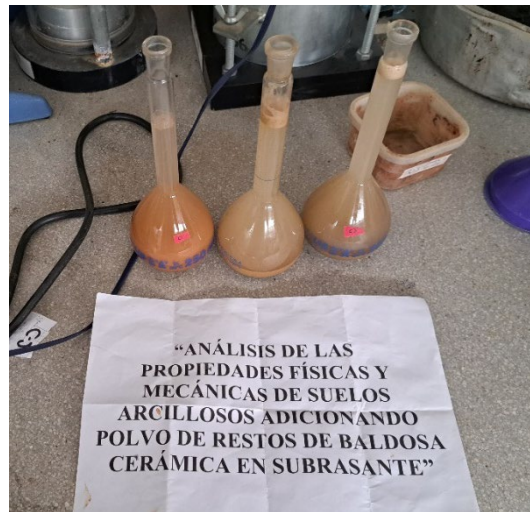
Fuente: Elaboración propia

Gran parte de las partículas retenidas para la calicata 2 y 3 se dio en la malla número 100. Sin embargo, para la calicata 1 el mayor peso retenido fue en la malla 200. Por otro lado, gran parte de la muestra lavada no fue retenida por la malla N°200 al fondo, con estos datos de peso retenido según la malla respectiva por cada calicata se puede terminar la curva granulométrica la cual tiene en el eje horizontal el tamaño de las partículas retenidas y en el eje vertical el porcentaje que pasa.

- **Peso Específico relativo de las partículas sólidas de un suelo**

Se pesaron los 50.00 g de muestra previamente secada y tamizada cómo se alude en el marco teórico; de igual manera se determinó el peso de la fiola, el peso de la fiola con la muestra destilada y el peso de la fiola con agua y la muestra.

*Figura 24: Fiolas con las muestras con aire atrapado por calicata*



*Fuente: Elaboración propia*

Con auxilio de una bomba de vacío se procede a retirar los vacíos de aire atrapado entre las partículas sólidas.

*Figura 25: Fiola en la bomba de vacío para eliminar los vacíos de cada calicata*



*Fuente: Elaboración propia*

Una vez retirada la fiola se deja reposar durante un día para tomar el dato del peso de la fiola con el agua y la muestra de 50.00 g.

Figura 26: Fiolas con las muestras sin aire atrapado por calicata



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Datos para calcular la gravedad específica de la muestra por calicata

DATOS	C-01	C-02	C-03
1. N° de fiola	C-1	C-2	C-3
2. Peso de la fiola	g. 89.160	103.030	91.740
3. Peso de la muestra de suelo - seco	g. 50.000	50.000	50.000
4. Peso de la muestra de suelo seco + peso de la fiola (2+3)	g. 139.160	153.030	141.740
5. Peso de la muestra + Fiola + agua	g. 369.400	382.490	371.540
6. Peso de la fiola + peso de agua	g. 338.150	351.900	341.040

Fuente: Elaboración propia

Con los datos evidenciados se puede determinar esta propiedad física del suelo; los datos como el peso de fiola, el peso de tierra (50.00 gr), el peso de la fiola con el agua añadida y el peso de la fiola con la muestra y el agua; permiten determinar la gravedad específica de cada calicata. Para este ensayo es de suma importancia el modo en el que se operó, puesto que los datos dependen de gran medida de que si el ensayo se realiza de manera correcta.

##### 5. Ensayos respecto a la muestra patrón para determinar sus propiedades mecánicas.

Tabla 27: Ensayos para la muestra patrón (propiedades mecánicas)

Ensayos para la muestra patrón (Propiedades mecánicas)	Norma	
Proctor modificado	NTP 339.141 (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·lb/ft <sup>3</sup> )))	MTC E 115 (COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA SPROCTOR MODIFICADA)
California Bearing Ratio (CBR)	NTP 339.145 (MÉTODO DE ENSAYO CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO)	MTC E 132 (CBR DE SUELOS (LABORATORIO))

Fuente: Elaboración propia

- **Proctor modificado**

Se pesaron 3.00 kilos de muestra de cada punto de muestreo en base a la muestra patrón, con este peso se toma el porcentaje de agua que fue de 6%, 10%, 14% y 18% para la calicata 1; para la calicata 2 y 3 el porcentaje de agua fue de 6%, 9%, 12% y 15%; estos datos fueron asumidos en base a los límites de Atterberg. Se realizaron 3 vueltas de Proctor, para lo cual fueron necesarias 12 bolsas de 3000 gramos para cada calicata, dando un total de 36 bolsas en las 3 calicatas presentes en la investigación. Previamente, la muestra requerida fue tratada según lo que menciona la norma del manual de ensayo de materiales, en base al tamizado.

*Tabla 28: Número de muestras para realizar el ensayo de Proctor en la muestra patrón*

PORCENTAJE DE ADICIÓN DE AGUA	CANTIDAD DE MUESTRAS	
CALICATA 01	6.00%	3.00
	10.00%	3.00
	14.00%	3.00
	18.00%	3.00
CALICATA 02	6.00%	3.00
	9.00%	3.00
	12.00%	3.00
	15.00%	3.00
CALICATA 03	6.00%	3.00
	9.00%	3.00
	12.00%	3.00
	15.00%	3.00
<b>TOTAL</b>	<b>36.00</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

Luego de pesar las muestras respectivas para cada calicata, se procede a realizar la saturación de las muestras con ayuda de una probeta graduada para facilitar el contenido de humedad que se va a agregar en función a los 3000.00 gramos pesados de cada muestra.

*Figura 27: Ensayo de Proctor modificado: saturación*



*Fuente: Elaboración propia*

Este número de muestras permitirá establecer el contenido de agua óptimo en el que el suelo logre la mejor compactación, es decir donde su peso específico sea el mejor en relación al porcentaje de agua que contiene.

Después de homogenizar la mezcla de suelo con el agua, se procede a dejar saturando la muestra durante 24 horas. Posterior a ello, se procede a realizar el ensayo siguiendo los lineamientos establecidos en el manual de ensayo de materiales.

*Figura 28: Ensayo de Proctor modificado: compactación*



*Fuente: Elaboración propia*

Los datos se marcaron en la siguiente tabla, tomando todas las consideraciones del manual de ensayo de materiales:

Tabla 29: Datos obtenidos al realizar el ensayo de Proctor en la muestra patrón

CÓDIGO DE CALICATA	VUELTA DE PROCTOR	DATOS				
		Porcentaje de agua (%)	Peso de suelo+molde (gr)	Peso de Molde (gr)	Peso del suelo húmedo compactado (gr)	Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )
CALICATA N°01	1	6.00%	6120.00	4178.00	1942.00	952.77
		10.00%	6299.00	4178.00	2121.00	952.77
		14.00%	6275.00	4178.00	2097.00	952.77
		18.00%	6184.00	4178.00	2006.00	952.77
	2	6.00%	6128.00	4178.00	1950.00	952.77
		10.00%	6308.00	4178.00	2130.00	952.77
		14.00%	6242.00	4178.00	2064.00	952.77
		18.00%	6164.00	4178.00	1986.00	952.77
	3	6.00%	6056.00	4175.00	1881.00	952.77
		10.00%	6269.00	4175.00	2094.00	952.77
		14.00%	6286.00	4175.00	2111.00	952.77
		18.00%	6307.00	4175.00	2132.00	952.77
CALICATA N°02	1	6.00%	6050.00	3852.00	2198.00	995.79
		9.00%	6210.00	3852.00	2358.00	995.79
		12.00%	5934.00	3852.00	2082.00	995.79
		15.00%	5870.00	3852.00	2018.00	995.79
	2	6.00%	5859.00	3852.00	2007.00	995.79
		9.00%	5989.00	3852.00	2137.00	995.79
		12.00%	5970.00	3852.00	2118.00	995.79
		15.00%	5891.00	3852.00	2039.00	995.79
	3	6.00%	6086.00	4175.00	1911.00	952.77
		9.00%	6155.00	4175.00	1980.00	952.77
		12.00%	6161.00	4175.00	1986.00	952.77
		15.00%	6195.00	4175.00	2020.00	952.77
CALICATA N°03	1	6.00%	5793.00	3852.00	1941.00	995.79
		9.00%	5953.00	3852.00	2101.00	995.79
		12.00%	5946.00	3852.00	2094.00	995.79
		15.00%	5905.00	3852.00	2053.00	995.79
	2	6.00%	5820.00	3852.00	1968.00	995.79
		9.00%	5990.00	3852.00	2138.00	995.79
		12.00%	5992.00	3852.00	2140.00	995.79
		15.00%	5881.00	3852.00	2029.00	995.79
	3	6.00%	5760.00	3852.00	1908.00	995.79
		9.00%	5960.00	3852.00	2108.00	995.79
		12.00%	5978.00	3852.00	2126.00	995.79
		15.00%	5990.00	3852.00	2138.00	995.79

Fuente: Elaboración propia

Los datos adquiridos varían en función al molde que se utilizó, como se observa en la tercera y quinta columna del apartado de datos se aprecia que el peso del molde y su volumen influirá de manera directa en los cálculos posteriores si no se toman de manera correcta, puesto que están relacionados el uno del otro. Con estos datos se podrá obtener el peso del volumen húmedo el cual ayudará a determinar el peso del volumen seco en función a el contenido óptimo de agua adiciona en cada calicata.

Por otro lado, es necesario registrar los datos del contenido de humedecimiento de las muestras saturadas con los diferentes porcentajes de agua, ya que esto permitirá determinar el contenido de agua óptimo. Para ello, se pesó una parte de la muestra saturada en una tara y se dejó en el horno controlado a  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  durante

un día como en el ensayo de contenido de agua mencionado con anteriormente. Después, se plasmó el peso de la muestra sin agua con la tara y se tomaron los siguientes datos:

*Tabla 30: Datos para determinar el contenido de humedad en el ensayo de Proctor en la muestra patrón*

CÓDIGO DE CALICATA	VUELTA DE PROCTOR	DATOS			
		Porcentaje de agua (%)	Peso del suelo húmedo+tara (gr)	Peso del seco húmedo+tara (gr)	Peso de tara
CALICATA N°01	1	6.00%	198.20	192.00	53.60
		10.00%	228.00	214.83	64.10
		14.00%	264.30	241.88	63.88
		18.00%	229.77	205.34	55.90
	2	6.00%	352.60	339.00	53.96
		10.00%	466.82	430.42	64.29
		14.00%	281.11	253.01	63.92
		18.00%	331.57	287.20	55.85
	3	6.00%	96.50	94.00	50.12
		10.00%	112.00	106.50	50.12
		14.00%	96.50	88.50	28.51
		18.00%	86.50	77.50	28.28
CALICATA N°02	1	6.00%	56.30	52.90	15.06
		9.00%	48.25	44.90	15.06
		12.00%	53.91	49.60	18.01
		15.00%	64.45	58.57	21.28
	2	6.00%	136.30	129.00	51.08
		9.00%	134.24	125.89	51.08
		12.00%	89.81	82.77	26.08
		15.00%	64.45	58.57	21.28
	3	6.00%	96.30	93.00	50.12
		9.00%	115.60	110.00	50.12
		12.00%	65.30	61.60	30.20
		15.00%	86.50	79.00	28.28
CALICATA N°03	1	6.00%	89.60	85.60	21.30
		9.00%	86.93	81.48	21.30
		12.00%	66.22	60.50	17.99
		15.00%	68.13	60.92	17.93
	2	6.00%	86.90	81.60	15.06
		9.00%	70.52	64.77	15.06
		12.00%	162.31	148.27	51.03
		15.00%	96.86	86.74	26.06
	3	6.00%	103.30	99.60	50.12
		9.00%	123.60	116.00	50.12
		12.00%	163.00	145.00	28.51
		15.00%	132.30	114.50	28.28

*Fuente: Elaboración propia*

Los datos que se obtuvieron están en base al porcentaje de adición de agua con el fin de hallar su contenido de agua para datos más precisos. Con estos datos se determinará el contenido de agua de cada adición de las 3 vueltas por calicata. Finalmente, se procede a encontrar el contenido óptimo de agua con el peso volumétrico seco para determinar el resultado final.

- **California Bearing ratio (CBR de suelos)**

Antes de realizar este ensayo, se definió el máximo volumen seco para el mejor contenido de agua, el cual fue de 8%, 10% y 10% para la calicata 1, 2 y 3 respectivamente por medio del ensayo de Proctor modificado. Teniendo eso en cuenta se procedió a pesar muestras de 5.00 kg con el fin de cubrir todos los espacios el molde para realizar el espécimen. Teniendo las muestras ya pesadas se procede a saturarlas con el contenido óptimo de agua en una dosificación en peso según sea la calicata.

*Figura 29: Ensayo CBR de suelos: saturación*



*Fuente: Elaboración propia*

El número de muestras que se va a utilizar es de 9 en total para cada vuelta de CBR por el número de golpes que se emplearán (56, 26 y 12 golpes), para calicata se realizarán 5 vueltas de CBR como se observa en la siguiente tabla:

*Tabla 31: Número de vueltas para realizar el ensayo de CBR en la muestra patrón*

CÓDIGO DE CALICATA	Nº DE GOLPES	PORCENTAJE ÓPTIMO DE AGUA	NÚMERO DE VUELTAS
CALICATA 1	56	8%	5.00
	26		
	12		
CALICATA 2	56	10%	5.00
	26		
	12		
CALICATA 3	56	10%	5.00
	26		
	12		
<b>NÚMERO TOTAL DE MUESTRAS</b>			<b>15.00</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El número de especímenes a diferencia que en el ensayo de Proctor modificado se tomó según el número de golpes que se tendrán para cada calicata por el óptimo porcentaje de agua. Los golpes como ya se referenció en el apartado de base teórica es de 56, 26 y 12 en base a lo mencionado en el manual de ensayo de materiales para obtener una curva favorable

*Figura 30: Ensayo CBR de suelos: compactación*



*Fuente: Elaboración propia*

Teniendo las muestras ya saturadas y dejadas en bolsas para una mayor cohesión del agua con el suelo se procede a ejecutar el procedimiento del ensayo, el cual inicia con la compactación de las muestras con el mismo pistón utilizado para generar una energía modificada de  $2\ 700\ \text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ . Asimismo, se tuvo el cuidado necesario para que al realizar este ensayo la distribución de golpes sea uniforme. Posterior a ello, los especímenes se sumergieron en agua hasta una altura inferior de la corona y con el trípode se tomó las medidas para verificar la expansión del suelo al estar sumergido.

*Figura 31: Ensayo CBR de suelos: inmersión*



*Fuente: Elaboración propia*

Los datos verificados se van registrando a lo largo de 4 días, el último registro se dará al cuarto día y se empieza con el siguiente proceso del ensayo.

La penetración de los especímenes se realizará en intervalos de tiempo; es decir se tomará registro de los datos en tiempos de 30 segundos, 1.30, 2.00, 2.30, 3.00, 4.00, 6.00, 8.00 y 10.00 minutos.

*Figura 32: Ensayo CBR de suelos: penetración*



*Fuente: Elaboración propia*

Los datos obtenidos ayudarán a determinar el CBR del suelo.

Teniendo todos los datos ya mencionados en el procedimiento de compactación, contenido de humedad, expansión y penetración se puede determinar el CBR del suelo.

## **6. Ensayos respecto a la muestra con adición para determinar sus propiedades físicas**

Tabla 32: Ensayos para la muestra modificada (propiedades físicas)


Ensayos con adición de polvo de restos de baldosa cerámica (3%, 6%, 9% y 12%) (Propiedades físicas)	Norma	
Límites de Atterberg	NTP 339.129 (MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS)	MTC E 110 (DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS) MTC E 111 (DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (I.P.))







Fuente: Elaboración propia


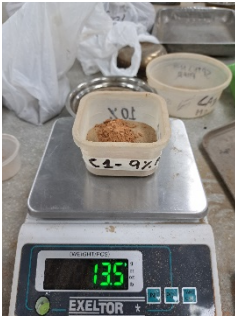

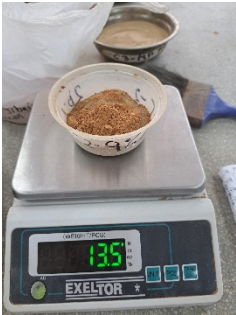


- **Límite líquido (LL)**

Se pesaron muestras de 150.00 gramos de muestra natural y respecto a dicho se trabajó el peso de las adiciones. Siendo así, 4.50 gramos para 3% de adición; 9.00 gramos para 6% de adición, para 13.50 gramos para 9% de adición; y 18.00 gramos de muestra para 12% de adición. El peso de la muestra sería la diferencia entre el peso que se va a trabajar (150.00 gramos) y la cantidad representativa de cada adición. A continuación, se muestran los pesos de la muestra natural y el peso del estímulo:


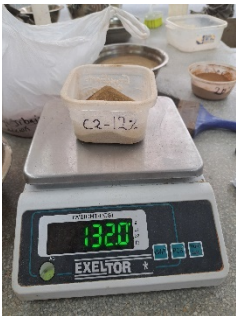
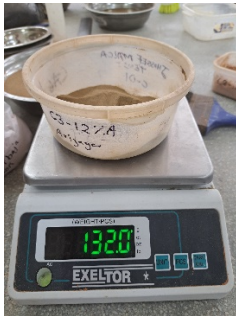
Figura 33: Peso del polvo de baldosa cerámica y peso de la muestra natural

Adición de 3% del polvo de baldosa cerámica a la muestra natural		
<p>Calicata N°01</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p>	<p>Calicata N°02</p> <p>Peso de suelo natural:</p> <p>145.50 gramos</p> <p>Peso de adición:</p> <p>4.50 gramos</p>	<p>Calicata N°03</p> <p>Peso de suelo natural:</p> <p>145.50 gramos</p> <p>Peso de adición:</p> <p>4.50 gramos</p>

		
<p>Adición de 6% del polvo de baldosa cerámica a la muestra natura</p>		
<p>Calicata N°01</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p> 	<p>Calicata N°02</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p> 	<p>Calicata N°03</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p> <p>9.00 gramos</p>
<p>Adición de 9% del polvo de baldosa cerámica a la muestra natura</p>		

<p>Calicata N°01</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p> 	<p>Calicata N°02</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p> 	<p>Calicata N°03</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p> 
---	---	---

Adición de 12% del polvo de baldosa cerámica a la muestra natura

<p>Calicata N°01</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p>	<p>Calicata N°02</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p>	<p>Calicata N°03</p> <p>Peso de suelo natural:</p>  <p>Peso de adición:</p>
--	--	--



*Fuente: Elaboración propia*

Se utilizó una balanza de 0.01 gramos de precisión ya que estos límites trabajan a mejor exactitud; así como, un horno vigilado a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  para que la temperatura se mantenga constante todo el tiempo. Teniendo esto en cuenta, con la copa de Casagrande se procedió a hacer el ensayo siguiendo todos los lineamientos establecidos en el manual de ensayo de materiales.

*Figura 34: Ensayo para determinar el límite líquido de la muestra con adición usando la copa de Casagrande*



*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 33: Datos para determinar el límite líquido de la muestra con adición

ADICIÓN	CÓDIGO	Nº de golpes	Tarro+Suelo húmedo	Tarro+suelo seco	Agua	peso del tarro	
3% DE ADICIÓN	CALICATA 1	C1-1	38.00	26.60	22.30	4.30	7.20
		C1-2	27.00	32.70	26.90	5.80	7.20
		C1-3	17.00	24.70	20.60	4.10	7.30
	CALICATA 2	C2-1	35.00	24.10	20.80	3.30	9.30
		C2-2	22.00	37.20	32.30	4.90	16.20
		C2-3	12.00	31.70	27.90	3.80	16.10
	CALICATA 3	C3-1	35.00	25.00	21.20	3.80	9.40
		C3-2	22.00	34.20	29.30	4.90	16.20
		C3-3	12.00	30.60	26.20	4.40	16.30
6% DE ADICIÓN	CALICATA 1	C1-1	33.00	33.60	27.60	6.00	7.20
		C1-2	21.00	26.70	22.00	4.70	7.00
		C1-3	16.00	24.60	20.40	4.20	7.60
	CALICATA 2	C2-1	34.00	27.60	23.20	4.40	7.30
		C2-2	26.00	26.00	22.10	3.90	7.30
		C2-3	18.00	26.80	22.30	4.50	7.30
	CALICATA 3	C3-1	38.00	24.20	20.00	4.20	7.30
		C3-2	22.00	30.30	24.30	6.00	7.20
		C3-3	17.00	27.40	22.10	5.30	7.60
9% DE ADICIÓN	CALICATA 1	C1-1	32.00	28.50	24.20	4.30	9.30
		C1-2	20.00	34.40	30.30	4.10	16.30
		C1-3	11.00	35.40	31.00	4.40	16.10
	CALICATA 2	C2-1	34.00	27.60	23.20	4.40	7.30
		C2-2	26.00	26.00	22.10	3.90	7.30
		C2-3	18.00	26.80	22.30	4.50	7.30
	CALICATA 3	C3-1	35.00	23.20	19.30	3.90	7.20
		C3-2	19.00	28.70	23.20	5.50	7.20
		C3-3	13.00	19.20	16.10	3.10	7.30

<b>12% DE ADICIÓN</b>	<b>CALICATA 1</b>	C1-1	30.00	38.34	33.44	4.90	16.06
		C1-2	23.00	35.12	30.66	4.46	16.05
		C1-3	17.00	36.09	31.09	5.00	16.06
	<b>CALICATA 2</b>	C2-1	33.00	29.03	24.17	4.86	7.23
		C2-2	22.00	32.48	26.64	5.84	6.99
		C2-3	11.00	29.22	23.94	5.28	7.28
	<b>CALICATA 3</b>	C3-1	38.00	34.28	30.00	4.28	16.28
		C3-2	28.00	33.31	28.95	4.36	16.08
		C3-3	22.00	38.02	32.29	5.73	16.07

*Fuente: Elaboración propia*

Los datos de la tabla N°34 permitirá determinar el límite líquido de los especímenes con adición por las 3 calicatas. Se trató de seguir todos los lineamientos mencionados en el manual de ensayo de materiales para que el error de laboratorio sea mínimo. Se trató de utilizar las mismas herramientas con el fin de mantener una homogeneidad en tanto al cálculo de datos como se observan en las columnas 4, 5 y 7; que son datos obtenidos con la balanza en la gran mayoría de registro de datos es similar o hay una pequeña diferencia.

- **Límite plástico (LP)**

*Figura 35: Barras de 3.20 mm de diámetro para determinar el límite plástico de la muestra con adición*



*Fuente: Elaboración propia*

Los datos validados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 34: Datos para límite plástico de la muestra con adición

ADICIÓN	CÓDIGO	Tarro+suelo húmedo	Tarro+suelo seco	Agua	Peso del tarro
3% DE ADICIÓN	CALICATA 1 C1-4	22.20	21.50	0.70	15.90
	CALICATA 2 C2-4	21.00	20.30	0.70	15.90
	CALICATA 3 C3-4	20.70	20.00	0.70	16.05
6% DE ADICIÓN	CALICATA 1 C1-4	21.60	20.90	0.70	16.20
	CALICATA 2 C2-4	20.90	20.20	0.70	15.90
	CALICATA 3 C3-4	24.60	23.30	1.30	16.10
9% DE ADICIÓN	CALICATA 1 C1-4	23.80	22.90	0.90	16.10
	CALICATA 2 C2-4	20.90	20.20	0.70	15.90
	CALICATA 3 C3-4	20.21	19.55	0.66	15.96
12% DE ADICIÓN	CALICATA 1 C1-4	21.60	20.83	0.77	15.90
	CALICATA 2 C2-4	23.05	22.04	1.01	15.89
	CALICATA 3 C3-4	20.90	20.14	0.76	16.11

*Fuente: Elaboración propia*

Los datos obtenidos en la tabla N°35 se realizaron de manera cuidados siguiendo los pasos mencionados en la base teórica. De igual manera, como en el ensayo de límite líquido de las muestras con adición se realizó con equipos similares para mantener el margen de error de laboratorio al mínimo.

- **Índice de plasticidad (IP)**

Con los resultados obtenidos en los ensayos de límite líquido y límite plástico se calculó de manera digital el índice de plasticidad de todos los especímenes con adición por cada calicata.

*Figura 36: Muestra seca con adición necesaria para determinar el índice de plasticidad*



*Fuente: Elaboración propia*

## 7. Ensayos respecto a la muestra con adición para determinar sus propiedades mecánicas.

*Tabla 35: Ensayos para la muestra modificada (propiedades mecánicas)*

Ensayos con adición de polvo de restos de baldosa cerámica (3%, 6%, 9% y 12%) (Propiedades mecánicas)	Norma	
Proctor modificado	NTP 339.141 (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> ))	MTC E 115 (COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADA))
California Bearing Ratio (CBR)	NTP 339.145 (MÉTODO DE ENSAYO CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO)	MTC E 132 (CBR DE SUELOS (LABORATORIO))

*Fuente: Elaboración propia*

- **Proctor modificado**

Se pesaron 2910.00 gramos de muestra natural de cada calicata y 90.00 gramos de polvo de restos de baldosa cerámica para el 3% de adición del estímulo, la suma de este peso será de 3000.00 gramos, el cual es el peso necesario para realizar este ensayo con el porcentaje de agua de 9%, 12%, 15% y 18% para la calicata 1; para la calicata 2 y 3, se utilizó la misma cantidad de muestra natural y adición, con porcentajes de agua de 11%, 14%, 17% y 20% para ambas calicatas. Para el 6% de adición se pesó 2820.00 gramos de muestra natural y 180.00 gramos de polvo de baldosa cerámica, con porcentajes de adición de agua de 8%, 11%, 14% y 17% para la calicata 1; para la calicata 2 el porcentaje de agua fue de 11%, 14%, 17% y 20%; y para la calicata 3 fue de 10%, 13%, 16% y 19% respectivamente. Por otro lado, para el 9% de adición se pesó 2730.00 gramos de muestra natural y 270.00 gramos de adición con porcentajes de adición de agua de 8%, 11%, 14% y 17% para la primera calicata; para la calicata 2 el porcentaje de agua fue de 10%, 13%, 16% y 19%; y para la calicata 3 fue de 11%, 14%, 17% y 20%. Finalmente, se pesó 2640.00 gramos de muestra natural y 360.00 gramos de polvo de restos de baldosa cerámica para un porcentaje de adición de 12% en relación a un peso de 3000.00 gramos; para la calicata 2 y 3 el porcentaje de agua fue de 11%, 14%, 17% y 20%; y 10%, 13%, 16% y 19% respectivamente. Estos datos fueron asumidos en base a los límites de Atterberg de las muestras con adición respectivamente. Se realizaron 3 vueltas de Proctor para cada porcentaje de adición, para lo cual fueron necesarias 12 bolsas de 3000 gramos, dando un total de 36 vueltas de Proctor para las 3 calicatas y sus respectivos porcentajes de adición. Previamente, la muestra requerida fue tratada según lo que menciona la norma del manual de ensayo de materiales, en base al tamizado y su preparación.

- **California Bearing ratio (CBR de suelos)**

Previo a realizar el ensayo de CBR, se definió la máxima densidad seca para el óptimo contenido de agua, el cual fue de 12% para la todas las adiciones en la calicata 1; para la calicata 2 se tiene 12%, 13%, 13% y 12% para el 3%, 6%, 9% y 12% de adición respectivamente; finalmente, para la calicata 03 se tiene 13%, 12%, 14% y 12% para el 3%, 6%, 9% y 12% de adición respectivamente por medio del ensayo de Proctor modificado. Teniendo eso en cuenta se procedió a pesar muestras de 5.00 kg siguiendo el proceso mencionado en el CBR de la muestra natural.

Tabla 36: Número de muestras de CBR con adición

ADICIÓN	Nº de golpes	NÚMERO DE VUELTAS		
		CÓDIGO		
		CALICATA 1	CALICATA 2	CALICATA 3
		Nº de muestras	Nº de muestras	Nº de muestras
3%	56	5.00	5.00	5.00
	26			
	12			
6%	56	5.00	5.00	5.00
	26			
	12			
9%	56	5.00	5.00	5.00
	26			
	12			
12%	56	5.00	5.00	5.00
	26			
	12			
<b>NÚMERO TOTAL DE MUESTRAS</b>		<b>60.00</b>		

Fuente: Elaboración propia

Después de determinar la cantidad de muestras se procede a hacer el mismo procedimiento descrito en lo expuesto en CBR de la muestra natural.

Figura 37: Saturación de muestra para CBR con adición



Fuente: Elaboración propia

*Figura 38: Compactación de muestra para CBR con adición*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 39: Inmersión de muestra para CBR con adición*



*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 40: Penetración de muestra para CBR con adición*



*Fuente: Elaboración propia*

Con los datos verificados en la etapa de compactación, contenido de humedecimiento, inmersión y penetración, se podrá determinar el CBR del suelo con adición.

## Resultados y discusión

### Resultados

#### *Composición química del reporte de análisis a la baldosa cerámica*

Mediante la metodología de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X para el análisis de la composición química del polvo de restos de baldosa cerámica en un peso de 500.00 gramos se encontró principalmente óxido de Calcio (CaO), óxido de Hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de Aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de Magnesio (MgO), óxido de Silicio (SiO<sub>2</sub>), óxido de Azufre (SO<sub>3</sub>), óxido de Potasio (K<sub>2</sub>O), óxido de Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), óxido de Manganeseo (MnO) y óxido de Zinc (ZnO). Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

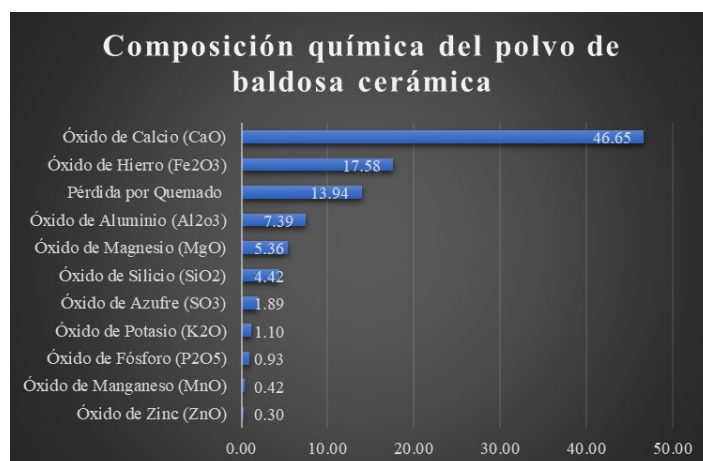
*Tabla 37: Composición química del polvo de baldosa cerámica*

COMPOSICIÓN	RESULTADOS (%)	METODOLOGÍA
Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7.39	Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X
Óxido de Calcio (CaO)	46.65	
Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	17.58	
Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O)	1.10	
Óxido de Magnesio (MgO)	5.36	
Óxido de Manganeseo (MnO)	0.42	
Óxido de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.93	
Óxido de Azufre (SO <sub>3</sub> )	1.89	
Óxido de Silicio (SiO <sub>2</sub> )	4.42	
Óxido de Zinc (ZnO)	0.30	
Pérdida por Quemado	13.94	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla N°37 el óxido de calcio (CaO) es el porcentaje que predomina en la composición química de la muestra de restos de baldosa cerámica con un 46.65%. Por otro lado, el óxido de Zinc (ZnO) es que tiene menos presencia con un 0.30% dentro de la muestra.

*Figura 41: Gráfico de barras de la composición química del polvo de restos de baldosa cerámica*



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la gráfica se puede apreciar que la similitud de los resultados es similar a la planteada en los conceptos de baldosa cerámica descrita.

### *Perfil estratigráfico de excavación*

*Tabla 38: Resultados: Perfil estratigráfico*

<b>CÓDIGO</b>	<b>Características visuales</b>
<b>CALICATA 01</b>	Arcilla de baja plasticidad, de consistencia blanda, estado húmedo, sin problemas de colapso y color marrón claro
<b>CALICATA 02</b>	Arcilla de baja plasticidad, con una consistencia blanda, estado húmedo, sin problemas de colapso y color marrón claro
<b>CALICATA 03</b>	Arcilla arenosa de baja plasticidad, de consistencia blanda, sin problemas de colapso

*Fuente: Elaboración propia*

La calicata 01 comprende una arcilla de baja plasticidad, de consistencia notablemente blanda, en un estado húmedo, sin problemas de colapso al momento de realizar la calicata y color marrón claro. Por otro lado, la calicata 02 presenta una arcilla de baja plasticidad, con una consistencia preclaramente blanda, en un estado húmedo, sin problemas de colapso al realizar la calicata y color marrón claro; y la calicata 03 es una arcilla arenosa de baja plasticidad, de consistencia blanda, sin problemas de colapso al momento de retirar la muestra.

### *Ensayos para determinar las propiedades físicas de la muestra natural*

- **Contenido de humedad**

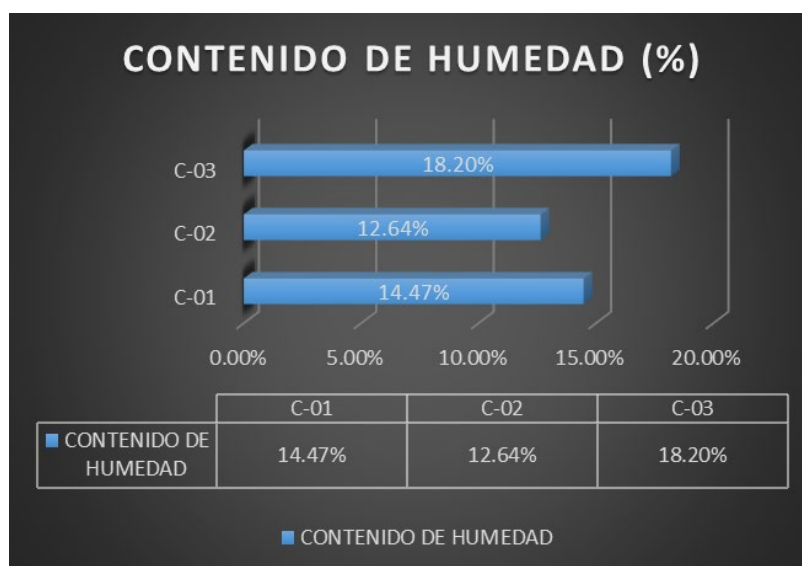
*Tabla 39: Resultados: Contenido de humedad*

	<b>C-01</b>	<b>C-02</b>	<b>C-03</b>
<b>Humedad</b>	<b>14.47%</b>	<b>12.64%</b>	<b>18.20%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Según la tabla N°39 el contenido de humedad de las muestras está entre un intervalo de 12% a 19%, siendo la calicata N°03 la muestra con mayor contenido de humedad con 18.20% y la calicata N°02 la menor con 12.64%. Asimismo, la calicata N°01 contaría con un 14.47% de porcentaje de contenido de humedad.

Figura 42: Gráfico de barras del contenido de humedad de cada calicata



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°36 se puede observar que la diferencia del contenido de humedad de las 3 calicatas es mínima, teniendo la máxima diferencia de 5.56% entre la calicata N°02 y N°3.

- **Límite líquido (LL)**

Los resultados del ensayo de límite líquido se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 40: Resultados del ensayo de límite líquido (LL)

CÓDIGO	LÍMITE LÍQUIDO (LL)
CALICATA 1	26.75%
CALICATA 2	25.45%
CALICATA 3	29.00%

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla N°39 la calicata N°03 cuenta con un mayor límite líquido con un 29.00%. La segunda calicata con mayor límite líquido es la N°01 con 2.25% menos que la mayor. Finalmente se observa que la calicata con menos límite líquido es la N°02 con un 25.45%.

- **Límite de plástico (LP)**

*Tabla 41: Resultados del ensayo de límite plástico (LP)*

CÓDIGO	LÍMITE PLÁSTICO (LP)
CALICATA 1	18.03%
CALICATA 2	15.93%
CALICATA 3	16.49%

*Fuente: Elaboración propia*

Como se observa en la tabla N°41 la calicata N°01 cuenta con mayor límite plástico a comparación de la calicata N°2 y N°3 que presentan casi 2% menos a comparación.

- **Índice de plasticidad (IP)**

*Tabla 42: Resultados del índice de plasticidad (IP)*

CÓDIGO	INDICE DE PLASTICIDAD
CALICATA 1	8.72
CALICATA 2	9.51
CALICATA 3	12.51

*Fuente: Elaboración propia*

Se comprueba que la calicata N°03 es la que tiene mayor índice de plasticidad con 12.51%, seguido de la calicata N°02 con 9.51% y finalmente la calicata N°01 con el menor porcentaje de índice de plasticidad (8.72%).

- **Análisis granulométrico**

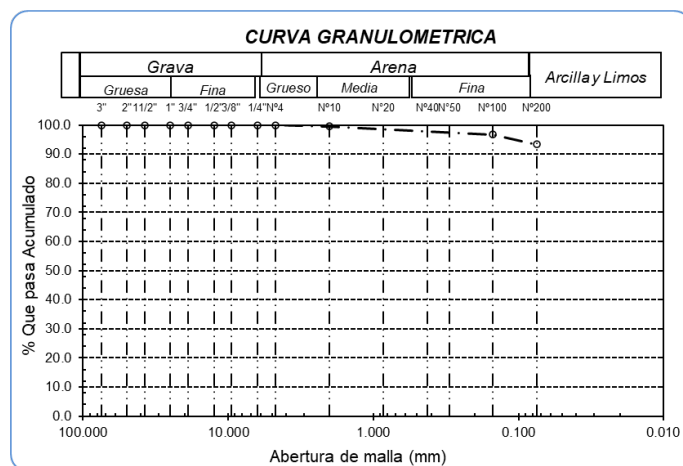
Tabla 43: Resultados de granulometría: Calicata N°01

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0
N°4	4.750	0.47	0.1	0.1	99.9
N°10	2.360	1.50	0.3	0.4	99.6
N°20	1.180	2.30	0.5	0.9	99.1
N40	0.600	1.70	0.3	1.2	98.8
N°50	0.300	1.80	0.4	1.6	98.4
N°100	0.150	8.50	1.7	3.3	96.7
N°200	0.075	16.50	3.3	6.6	93.4
< N° 200	FONDO	407.70	81.5	88.1	11.9

Fuente: Elaboración propia

Se verifica que de los 500.00 gramos de muestra pesada para realizar este ensayo, el 81.40% de la muestra fue lavada. De igual manera, se observa que el mayor porcentaje retenido es por la malla N°200 y el menor es por la malla N°04.

Figura 43: Curva granulométrica: Calicata N°01



Fuente: Elaboración propia

La curva nos indica hay una decreciente notable en la malla N°10 y aumentando hasta llegar a la N°200.

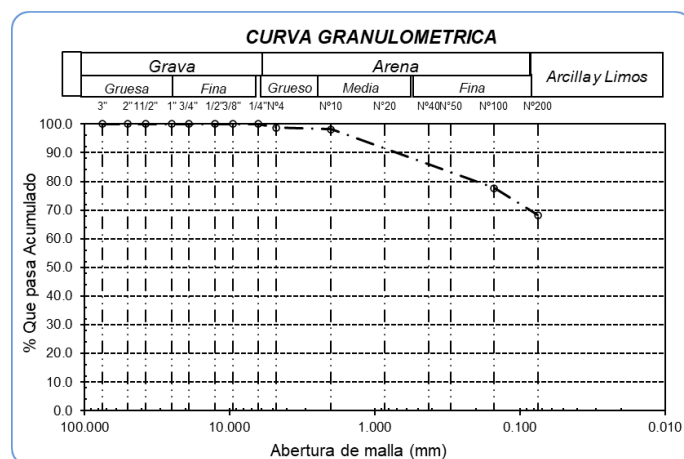
Tabla 44: Resultados de granulometría: Calicata N°02

TAMICES		PESO	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE
(Pul)	(mm)	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0
Nº4	4.750	5.90	1.3	1.3	98.7
Nº10	2.360	2.50	0.6	1.9	98.1
Nº20	1.180	5.50	1.2	3.1	96.9
Nº40	0.600	11.20	2.5	5.6	94.4
Nº50	0.300	10.80	2.4	8.0	92.0
Nº100	0.150	65.00	14.4	22.4	77.6
Nº200	0.075	41.70	9.3	31.7	68.3
< Nº 200	FONDO	303.30	67.4	99.1	0.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°43 se puede notar que un 60.66% de la muestra fue lavada con un peso de 303.30%. En este caso, el peso retenido con mayor incidencia es por la malla N°100 seguido de la malla N°200. Por otro lado, la malla que menos material retuvo fue la N°10 con tan solo 2.50 gramos siendo solo el 0.5% del peso total (500.00 gramos).

Figura 44: Curva granulométrica: Calicata N°02



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica mostrada en la figura N°37 se observa que la curva granulométrica cae considerablemente desde la malla N°20 hasta la N°200.

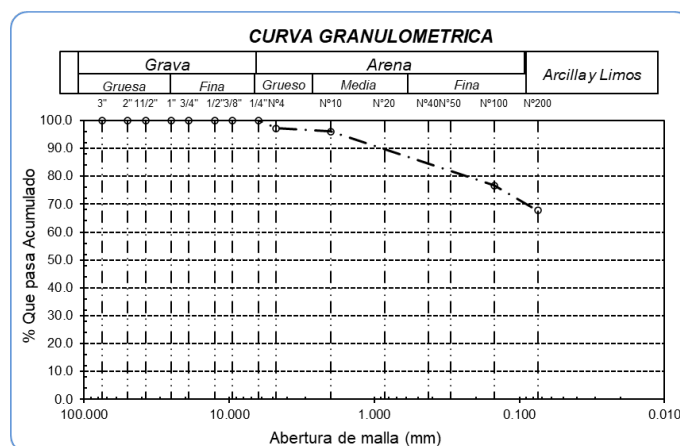
Tabla 45: Resultados de granulometría: Calicata N°03

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
(Pul)	(mm)				
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0
Nº4	4.750	12.60	2.8	2.8	97.2
Nº10	2.360	4.90	1.1	3.9	96.1
Nº20	1.180	6.60	1.5	5.4	94.6
Nº40	0.600	10.60	2.4	7.8	92.2
Nº50	0.300	10.30	2.3	10.1	89.9
Nº100	0.150	59.60	13.2	23.3	76.7
Nº200	0.075	40.70	9.0	32.3	67.7
< Nº 200	FONDO	307.30	68.3	100.6	-0.6

Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia más del 50.00% de la muestra fue lavada y depositada en el fondo de los tamices, específicamente los 307.30 gramos equivalen a un 61.46% del peso total de la muestra (500.00gramos). También, se observa que el máximo peso retenido es por la malla N°100 y la N°200. Por otro lado, la malla que menos material retuvo fue la N°10 con 4.90 gramos que equivalen a 0.98% del total de la muestra pesada.

Figura 45: Curva granulométrica: Calicata N°03



Fuente: Elaboración propia

En la figura se evidencia que la curva empieza a decaer en la malla N°04 y hasta la N°10 se observa que se comporta de una manera lineal. Sin embargo, desde la malla N°10 hasta la malla N°200 empieza a decaer en su totalidad según el porcentaje que pasa acumulado.

- **Peso Específico relativo de las partículas sólidas de un suelo**

*Tabla 46: Resultados de peso específico relativo de sólidos (Gs)*

DATOS	C-01	C-02	C-03
Peso específico relativo de sólidos (G <sub>s</sub> )	g/cm <sup>3</sup> 2.667	2.576	2.564

*Fuente: Elaboración propia*

Según la tabla N°45 la calicata N°01 es la que cuenta con el mayor peso específico relativo de los sólidos con un 2.667 gr/cm<sup>3</sup>. Seguidamente, la calicata N°02 es la que tiene el segundo mayor peso específico con 2.576 gr/cm<sup>3</sup>, lo cual es 3.41% menos que la calicata N°01. Finalmente, se observa que la calicata N°03 es la que tiene menos peso específico con 2.564, que comparando dicho peso con el de la calicata N°01 es 3.86% menor.

*Ensayos para determinar las propiedades mecánicas de la muestra natural*

- **Proctor modificado**

*Tabla 47: Resultados de Proctor modificado en la muestra patrón*

CÓDIGO	DENSIDAD MÁXIMA SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
CALICATA N°01	2.030	8.00%
CALICATA N°02	1.992	10.00%
CALICATA N°03	1.925	10.00%

*Fuente: Elaboración propia*

Se evidencia que la calicata N°3 es la que tiene mayor contenido de agua con 1.935 gr/cm<sup>3</sup> de densidad máxima seca, le sigue la calicata N°02 con 1.992 gr/cm<sup>3</sup>; y finalmente, la calicata N°01 con un 6% de óptimo contenido de humedad para una densidad máxima seca de 2.030 gr/cm<sup>3</sup>.

- **California Bearing ratio (CBR de suelos)**

*Tabla 48: Resultados de California Bearing ratio (CBR de suelos) en la muestra patrón*

CÓDIGO	CBR 100%	CBR 95%
CALICATA 01	4 %	3 %
CALICATA 02	4 %	3 %
CALICATA 03	4 %	3 %

*Fuente: Elaboración propia*

Se evidencia que las 03 calicatas, con muestras de suelo arcilloso, cuentan con un 4% de CBR al 100% de la MDS y con un 3% al 95% de la MDS.

**Ensayos para determinar las propiedades físicas de la muestra con adición de 3%, 6%, 9% y 12%**

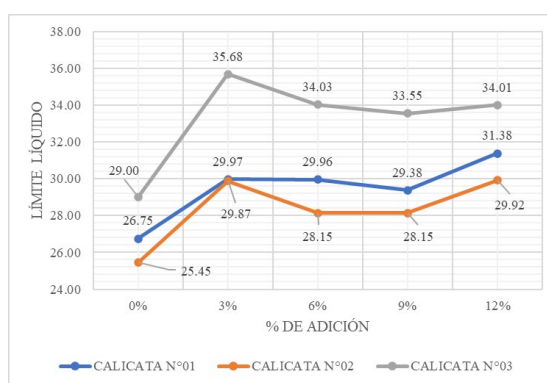
- **Límite líquido**

*Tabla 49: Resultados de Límite líquido (LL) con adición*

LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
CÓDIGO	0%	3%	6%	9%	12%
CALICATA N°01	26.75	29.97	29.96	29.38	31.38
CALICATA N°02	25.45	29.87	28.15	28.15	29.92
CALICATA N°03	29.00	35.68	34.03	33.55	34.01

*Fuente: Elaboración propia*

*Figura 46: Límite líquido (LL) según su % de adición*



*Fuente: Elaboración propia*

Se observa que para el 3% de adición la calicata con mayor límite líquido es la N°03, seguida de la N°01 y N°02 con 35.68%, 29.97% y 29.87% respectivamente. En tanto al 6% de adición se observa que, de igual manera, la calicata N°03 es la que tiene mayor límite líquido con 34.03%, seguido de 29.96% para la calicata N°01; y 28.15% para la calicata N°02. Para el 9% sucede lo mismo, el orden es el mismo que los anteriores presentados, con 33.55% para la calicata N°03, 29.38% para la N°01 y 28.15 para la N°02. Finalmente, para el 12% de adición sucede lo mismo, la calicata N°03, seguido de la N°02 y la N°01 con 34.01%, 31.38% y 29.92% respectivamente.

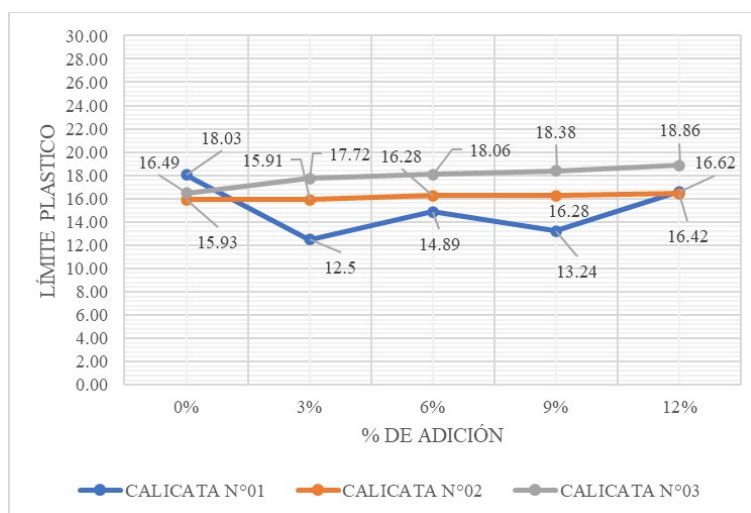
- **Límite plástico**

*Tabla 50: Resultados de Límite plástico (LP) con adición*

LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
CÓDIGO	0%	3%	6%	9%	12%
CALICATA N°01	18.03	12.5	14.89	13.24	16.62
CALICATA N°02	15.93	15.91	16.28	16.28	16.42
CALICATA N°03	16.49	17.72	18.06	18.38	18.86

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 47: Límite plástico (LP) según su % de adición



Fuente: Elaboración propia

Según la tabla N°50 se observa que para un 3% de adición la calicata N°03 es la que tiene mayor límite plástico con 17.72% seguido de la calicata N°02 con 15.91% y la calicata N°01 con 12.50%. Para un 6% de adición se tiene que la calicata con menos límite plástico es la N°01 con 14.89%, seguido de la N°02 con 16.28% y la N°03 con 18.06%. Con un 9% de adición se observa que la calicata N°03 tiene un 18.38%, la N°02 un 16.28% y N°01 un 13.24%. Para finalizar, para un 12% de adición se observa que la calicata con menos límite de plasticidad es la N°02 con 16.42, seguido de la N°01 con 16.62% y la N°03 con 18.86%.

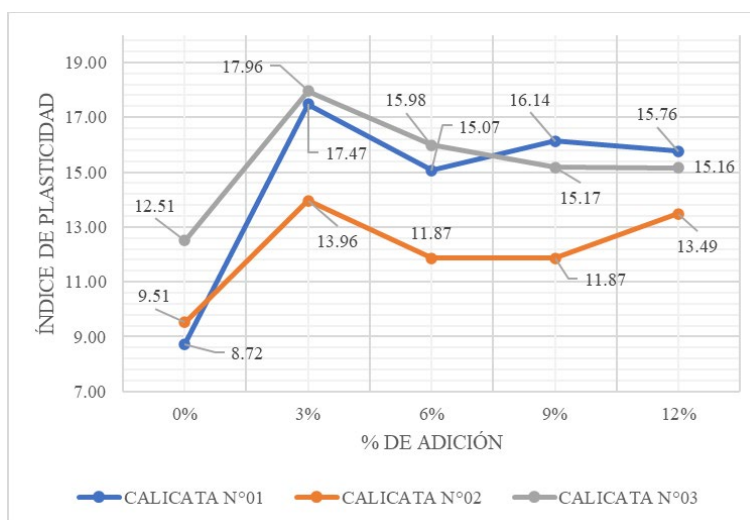
- **Índice de plasticidad (IP)**

Tabla 51: Resultados de índice de plasticidad (IP) con adición

ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)					
CÓDIGO	0%	3%	6%	9%	12%
CALICATA N°01	8.72	17.47	15.07	16.14	15.76
CALICATA N°02	9.51	13.96	11.87	11.87	13.49
CALICATA N°03	12.51	17.96	15.98	15.17	15.16

Fuente: Elaboración propia

Figura 48: Índice de plasticidad (IP) según su % de adición



Fuente: Elaboración propia

Se puede notar que el índice de plasticidad de la calicata N°01 es el máximo en un 3% de adición con 17.47%, luego disminuye y aumenta entre 15.07% a 16.14% en un 6% y 9% de adición respectivamente. Asimismo, en la calicata N°02 se observa que el mayor índice de plasticidad es de 13.96% para un 3% de adición, seguido del 12% de adición con un 13.49% y para un 6% y 9% se mantiene el índice de plasticidad con 11.87%. Para concluir, la calicata N°03 tiene un mayor índice de plasticidad con un 3% de adición dando como resultado 17.96%, seguido del 6% de adición con 15.98% y 9% con 15.17%, el 12% de adición da el menos índice de plasticidad para esta calicata con un 15.16%.

Con los datos mostrados en tanto a la muestra natural y la muestra con adición se tiene la siguiente clasificación según la caracterización de suelos SUCS y AASHTO:

Tabla 52: Caracterización de suelos mediante SUCS y AASHTO

CÓDIGO	CLASIFICACIÓN DE SUELOS			
	MUESTRA	SUCS	AASHTO	DENOMINACIÓN
CALICATA 01	NARUTAL	CL	A-4	Arcilla de baja plasticidad
	3% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	6% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	9% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad
	12% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla de baja plasticidad
CALICATA 02	NARUTAL	CL	A-4	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	3% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	6% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	9% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	12% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad

CALICATA 02	NARUTAL	CL	A-4	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	3% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	6% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	9% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	12% DE ADICIÓN	CL	A-6	Arcilla arenosa de baja plasticidad

*Fuente: Elaboración propia*

**Ensayos para determinar las propiedades mecánicas de la muestra con adición de 3%, 6%, 9% y 12%**

- **Proctor modificado**

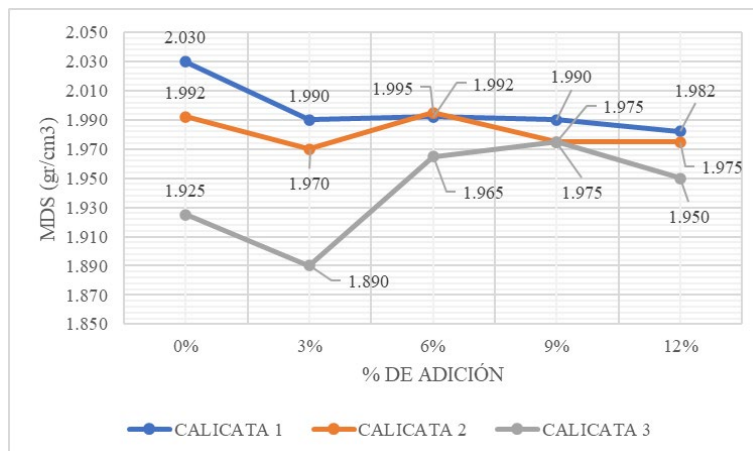
*Tabla 53: Resultados de Proctor modificado con adición*

ADICIÓN	CÓDIGO					
	CALICATA 1		CALICATA 2		CALICATA 3	
	OCH (%)	MDS (gr/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)	MDS (gr/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)	MDS (gr/cm <sup>3</sup> )
0%	8%	2.030	10%	1.992	10%	1.925
3%	12%	1.990	12%	1.970	13%	1.890
6%	12%	1.992	13%	1.995	12%	1.965
9%	12%	1.990	13%	1.975	14%	1.975
12%	12%	1.982	12%	1.975	12%	1.950

*Fuente: Elaboración propia*

Se puede observar que para un 3% de adición para la calicata 1, 2 y 3; la máxima densidad seca es de 1.990 gr/cm<sup>3</sup>, 1.970 gr/cm<sup>3</sup> y 1.890 gr/cm<sup>3</sup> con un óptimo contenido de humedad de 12%, 12% y 13% respectivamente. Para el 6% de adición se tiene una máxima densidad seca de 1.992 gr/cm<sup>3</sup>, 1.995 gr/cm<sup>3</sup> y 1.965 gr/cm<sup>3</sup> con un porcentaje óptimo de humedad de 12%, 13% y 12% para la calicata 1, 2 y 3 respectivamente. Por otro lado, para un 9% de adición se tiene una densidad máxima seca de 1.990 gr/cm<sup>3</sup>, 1.975 gr/cm<sup>3</sup> y 1.975 gr/cm<sup>3</sup> con una humedad de 12%, 13% y 14% para la calicata 1, 2 y 3 correspondientemente. Finalmente, para un 12% de adición se tiene una humedad de 12%, 12% y 12% con una densidad máxima seca de 1.982 gr/cm<sup>3</sup>, 1.975 gr/cm<sup>3</sup> y 1.950 gr/cm<sup>3</sup> para los puntos de estudio 1, 2 y 3 respectivamente. A continuación, se muestra un gráfico mostrando el porcentaje de adición vs la MDS de las 3 calicatas.

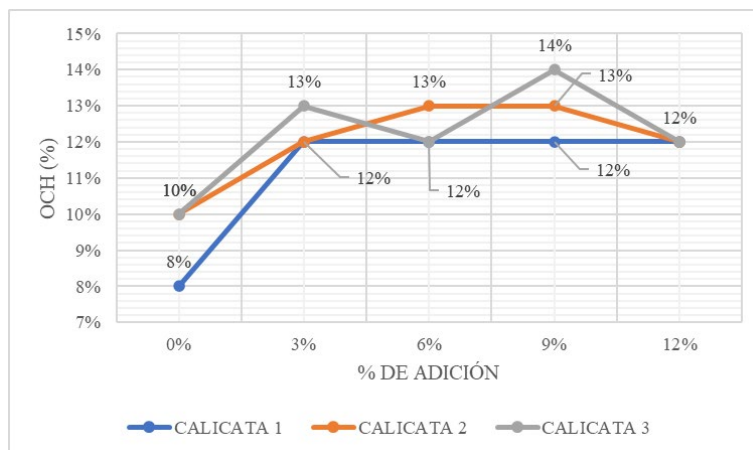
Figura 49: Máxima densidad seca según el porcentaje de adición de polvo de baldosa cerámica



Fuente: Elaboración propia

Se observa, una variación pronunciada del 0% al 3% en la calicata 1; sin embargo, mantiene una inclinación poco pronunciada desde el 3% hasta el 12% de adición. Por otro lado, la calicata 2 y 3 mantienen una gradiente marcada desde el 0% hasta el 12% de adición.

Figura 50: Óptimo contenido de humedad según el porcentaje de adición de polvo de baldosa cerámica



Fuente: Elaboración propia

Se observa, una variación pronunciada del 0% al 3% en la calicata 1; sin embargo, la humedad del 3% hasta el 12% de adición teniendo una recta con una pendiente de 0%. Por otro lado, la calicata 2 y 3 mantienen una pendiente marcada desde el 0% hasta el 12% de adición.

- **California Bearing ratio (CBR de suelos)**

*Tabla 54: Resultados de CBR con adición*

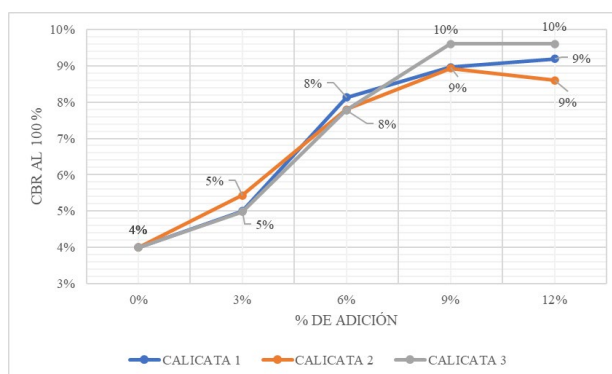
ADICIÓN	CÓDIGO					
	CALICATA 1		CALICATA 2		CALICATA 3	
	100%	95%	100%	95%	100%	95%
0%	4%	3%	4%	3%	4%	3%
3%	5%	5%	5%	4%	5%	5%
6%	8%	7%	8%	5%	8%	6%
9%	9%	8%	9%	7%	10%	8%
12%	9%	8%	9%	7%	10%	8%

*Fuente: Elaboración propia*

Tal como se aprecia, el CBR al 100% en tanto a la calicata 1 y 2 es igual, teniendo así 4% para la muestra patrón, 5% para el 3% de adición, 8% para el 6% de adición y 9% para el 9 y 12% de adición; por otra parte, el aumento del CBR al 100% en la calicata 3 es más notable, teniendo 4% para la muestra patrón, 5% para el 3% de adición, 8% para el 6% de adición y 10% para el 9% y 12% de adición.

Asimismo, para el CBR al 95%, en tanto a la calicata 1, se tiene un aumento de 3% para la muestra patrón, 5% para el 3% de adición, 7% para el 6% de adición y 8% para el 9 y 12% de adición; para la calicata 2 al 95% de la MDS se tiene un 3% en la muestra patrón, 4% para el 3% de adición, 5% para el 6% de adición y 7% para el 9% y 12% de adición; para concluir, para el 95% de la MDS en la calicata 3 se tiene un 3% de CBR de la muestra patrón, 5% para el 3% de adición, 6% para el 6% de adición y 8% para el 9% y 12% de adición. Consecutivamente, se muestran 2 gráficos mostrando el CBR del suelo de las 3 calicatas desde el 0% de adición (muestra patrón) hasta el 12% de adición (porcentaje más alto de adición), teniendo el porcentaje de adición vs el 100% de la MDS; y el porcentaje de adición vs el CBR al 95% de la MDS.

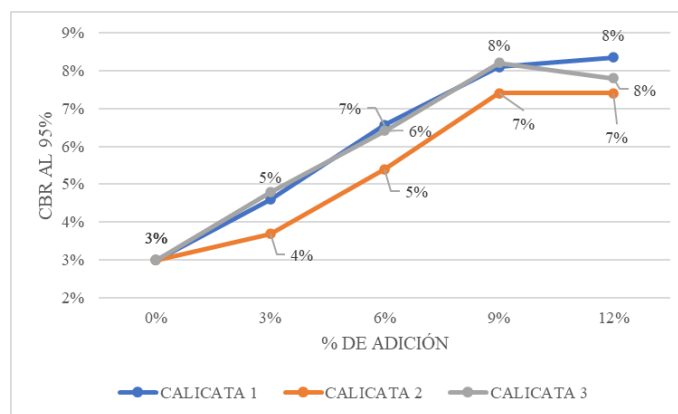
*Figura 51: CBR al 100% según el porcentaje de adición*



*Fuente: Elaboración propia*

Según la figura N°48, se tiene un aumento en la tendencia para la calicata 1 y 3 desde el 0% (muestra patrón) hasta el 12%; sin embargo, en la calicata 2 se tiene una disminución de la pendiente del 9% al 12% de adición en tanto al CBR al 100% de la MDS según el porcentaje de estimulante.

*Figura 52: CBR al 95% según el porcentaje de adición*



*Fuente: Elaboración propia*

Según la figura N°49, se tiene un acrecentamiento en la tendencia para la calicata 1 y 2 desde el 0% (muestra patrón) hasta el 12%; por otra parte, en la calicata 3 se tiene una depreciación de la pendiente del 9% al 12% de adición en tanto al CBR al 95% de la MDS según el porcentaje de estimulante.

### *Costo del proceso para la fabricación del polvo de baldosa cerámica*

El costo del proceso para la fabricación de polvo de baldosa cerámica va desde la recolección, transporte, trituración y tamizado de la muestra. Para cada uno de estos procesos se realizó el análisis de precios unitarios como se muestra a continuación:

*Tabla 55: Recolección de baldosa cerámica*

RECOLECCIÓN DE BALDOSA CERÁMICA							
Partida	Rendimiento	Kg	MO.	200.000	EQ.	200.000	Costo unitario directo por :
Jornada	8	hr/día					S/.0.85
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN			HH	1.00	0.04	19.58	0.78
							<b>0.78</b>
<b>Materiales</b>							
BALDOSA CERÁMICA			Kg		1.00	0.00	0.00
SACO			UND		0.02	2.00	0.04
							<b>0.04</b>
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.00	0.78	0.02
							<b>0.02</b>

*Fuente: Elaboración propia*

La recolección de la muestra sería en kilogramos con un alto rendimiento por la facilidad de la recolección del material.

*Tabla 56: Transporte de la baldosa*

Partida TRANSPORTE DE LA BADOSA							
Rendimiento	Kg	MO.	200.000	EQ.	200.000	Costo unitario directo por :	S/40.00
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Materiales</b>							
TRANSPORTE DE LA BALDOSA			UND		1.00	40.00	40.00
							<b>40.00</b>

*Fuente: Elaboración propia*

En el transporte de la muestra, se consideró un flete de 40.00 soles para un rendimiento de 200 kg/día.

*Tabla 57: Trituración de baldosa cerámica*

Partida TRITURACIÓN DE BALDOSA CERÁMICA							
Rendimiento	Kg	MO.	100.000	EQ.	100.000	Costo unitario directo por :	S/51.61
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN			HH	1.00	0.08	19.58	1.57
							<b>1.57</b>
<b>Materiales</b>							
TRITURACIÓN DEL MATERIAL RECICLADO			UND		1.00	50.00	50.00
							<b>50.00</b>
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.00	1.57	0.05
							<b>0.05</b>

*Fuente: Elaboración propia*

La trituración se usó en base a lo cotizado en la presente indagación, como se usó una máquina de abrasión, el costo sería de 50.00 soles.

*Tabla 58: Tamizado de baldosa cerámica*

Partida TAMIZADO DE BALDOSA CERÁMICA							
Rendimiento	Kg	MO.	50.000	EQ.	50.000	Costo unitario directo por :	S/3.27
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN			HH	1.00	0.16	19.58	3.13
							<b>3.13</b>
<b>Materiales</b>							
SACO			UND		0.02	2.00	0.04
							<b>0.04</b>
<b>Equipos</b>							
TAMIZ			HM	1.00	0.16	2.00	0.32
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.00	3.13	0.09
							<b>0.09</b>

*Fuente: Elaboración propia*

El tamizado, al ser una tarea simple y teniendo un rendimiento en Kg, asumiendo que se cuenta con un tamiz, es relativamente baja.

Con estos valores se tiene un costo en el procesamiento de la baldosa cerámica, siendo de S/.0.69 por kilogramo.

### *Costo de la baldosa cerámica en subrasante según el porcentaje de adición*

El costo varía según el % de adición para cada calicata. Asumiendo la densidad encontrada a partir del ensayo Proctor, se trabajó con las cantidades para cada una de las adiciones por calicata, como se observa en las siguientes tablas:

- **Para la calicata 01**

*Tabla 59: APU para el 3% de adición – C1*

Partida	3% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C1						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por :	S/44.13
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83		
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49		
					<b>18.32</b>		
<b>Materiales</b>							
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		36.54	0.69	25.26		
					<b>25.26</b>		
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55		
					<b>0.55</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 60: APU para el 6% de adición – C1*

Partida	3% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C1						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por :	S/44.13
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83		
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49		
					<b>18.32</b>		
<b>Materiales</b>							
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		36.54	0.69	25.26		
					<b>25.26</b>		
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55		
					<b>0.55</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

*Tabla 61: APU para el 9% de adición – C1*

Partida	9% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C1						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por :	S/94.65
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83		
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49		
					<b>18.32</b>		
<b>Materiales</b>							
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		109.62	0.69	75.78		
					<b>75.78</b>		
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55		
					<b>0.55</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 62: APU para el 12% de adición – C1

Partida 12% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C1						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por : S/.
Jornada	8	hr/día				<b>S/119.92</b>
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>						
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83	
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49	
					<b>18.32</b>	
<b>Materiales</b>						
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		146.16	0.69	101.05	
					<b>101.05</b>	
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55	
					<b>0.55</b>	

Fuente: Elaboración propia

El costo unitario de cada tabla aumenta según el porcentaje de adición, puesto que a mayor porcentaje, se necesita mayor cantidad de aditivo.

- Para la calicata 02

Tabla 63: APU para el 3% de adición – C2

Partida 3% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C2						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por : S/.
Jornada	8	hr/día				<b>S/43.66</b>
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>						
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83	
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49	
					<b>18.32</b>	
<b>Materiales</b>						
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		35.86	0.69	24.79	
					<b>24.79</b>	
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55	
					<b>0.55</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64: APU para el 6% de adición – C2

Partida 6% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C2						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por : S/.
Jornada	8	hr/día				<b>S/68.45</b>
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>						
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83	
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49	
					<b>18.32</b>	
<b>Materiales</b>						
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		71.71	0.69	49.58	
					<b>49.58</b>	
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55	
					<b>0.55</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65: APU para el 9% de adición – C2

Partida	9% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C2						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por :	S/193.24
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83		
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49		
					<b>18.32</b>		
<b>Materiales</b>							
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		107.57	0.69	74.37		
					<b>74.37</b>		
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55		
					<b>0.55</b>		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: APU para el 12% de adición – C2

Partida	12% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C2						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por :	S/118.02
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83		
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49		
					<b>18.32</b>		
<b>Materiales</b>							
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		143.42	0.69	99.15		
					<b>99.15</b>		
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55		
					<b>0.55</b>		

Fuente: Elaboración propia

El costo unitario para la calicata 2 varía y aumenta según el porcentaje de adición, ya que, a mayor porcentaje, se necesita mayor cantidad de aditivo.

- **Para la calicata 03**

Tabla 67: APU para el 3% de adición – C3

Partida	3% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C3						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por :	S/42.82
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83		
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49		
					<b>18.32</b>		
<b>Materiales</b>							
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		34.65	0.69	23.95		
					<b>23.95</b>		
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55		
					<b>0.55</b>		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68: APU para el 6% de adición – C3

Partida	6% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C3						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por :	S/66.78
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83		
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49		
					<b>18.32</b>		
<b>Materiales</b>							
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		69.30	0.69	47.91		
					<b>47.91</b>		
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55		
					<b>0.55</b>		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69: APU para el 9% de adición – C3

Partida	9% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C3						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por :	S/90.73
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83		
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49		
					<b>18.32</b>		
<b>Materiales</b>							
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		103.95	0.69	71.86		
					<b>71.86</b>		
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55		
					<b>0.55</b>		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70: APU para el 12% de adición – C3

Partida	12% DE ADICIÓN DE BALDOSA CERÁMICA EN SUBRASANTE - C3						
Rendimiento	m2	MO.	20.000	EQ.	20.000	Costo unitario directo por :	S/114.69
Jornada	8	hr/día					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
<b>Mano de Obra</b>							
PEÓN	HH	1.00	0.40	19.58	7.83		
OPERARIO		1.00	0.40	26.22	10.49		
					<b>18.32</b>		
<b>Materiales</b>							
POLVO DE BALDOSA CERÁMICA	Kg		138.60	0.69	95.82		
					<b>95.82</b>		
<b>Equipos</b>							
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00	18.32	0.55		
					<b>0.55</b>		

Fuente: Elaboración propia

El costo unitario para la calicata 3 es el menor de las 3 calicatas, puesto que la densidad que se está trabajando para estas adiciones es menor en relación a las 2 primeras.

## Discusión

1. Según el **primer objetivo** planteado, determinar las propiedades del polvo de restos de baldosa cerámica que se usará como estimulante mediante el ensayo de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X para comprobar la composición química del aditivo. Asimismo, el tamaño de las partículas utilizadas es menor a 0.425 mm, es decir, debe ser capaz de pasar por el tamiz N°40, lo cual si cumple con lo mencionado. Según los resultados, se presenta un alto contenido de óxido de Calcio (CaO) y óxido de Hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), teniendo un 64.23% de la composición total del aditivo. Además, comparando los datos con la investigación realizada por Mora [7], en el cual se comprobó que la baldosa cerámica resultó ser no plástica, tras ser triturada y tamizada por la malla N°40 se tomó en cuenta el tamaño de la partícula y la no plasticidad del aditivo (teoría).
2. El **segundo objetivo** menciona que se debe caracterizar las muestras de suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y AASHTO, dicha clasificación se realizó mediante los ensayos y dando como resultado lo ostentado en la tabla N°52.

Los resultados obtenidos muestran que, en las 3 calicatas, la muestra patrón según la clasificación SUCS da como resultado un suelo CL, que según la tabla 4 se tiene una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad. En tanto a la clasificación AASHTO se tiene un suelo A-4, que según la tabla de correlación entre el sistema SUCS Y AASHTO se tiene una arcilla de baja plasticidad. De igual manera, en las 3 calicatas en los porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12% se tiene un suelo de tipo CL según la clasificación SUCS, siendo una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad; sin embargo, en tanto a la clasificación AASHTO, se tiene un suelo de tipo A-6, pero para los porcentajes de 9% y 12% en la calicata 1 se tiene una arcilla de baja plasticidad, lo que no ocurre con el resto de adiciones de las calicatas restantes, que dan como resultado una arcilla arenosa de baja plasticidad.

Para Mora [7], no hay variación en tanto a la clasificación de suelos por el método SUCS, teniendo una muestra arcillosa limosa (CL), teniendo características de plasticidad moderada a baja y una leve presencia de grava; en tanto a la clasificación AASHTO, se observa que la muestra con natural y con adición no se alteran a pesar del aumento de los residuos cerámicos. Con esto se puede confirmar que en la presente investigación y los antecedentes guardan relación en tanto al tipo de suelo que se está trabajando por medio de la correlación del sistema de caracterización SUCS y

AASHTO. A continuación, se muestra un cuadro comparativo mostrando la caracterización del SUCS y AASHTO de la presente investigación y los antecedentes:

*Tabla 71: Cuadro comparativo de la investigación con los antecedentes*

<b>CUADRO COMPARTIVO DE LA INVESTIGACIÓN CON LOS ANTECEDENTES</b>	
<b>INVESTIGACIÓN</b>	<b>ANTECEDENTES Ccatamayo (2023)</b>
<b>MUESTRA PATRÓN</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•CALICATA 01, 02 y 03: SUCS: CL, AASHTO: A-4</li> </ul> Teniendo una arcilla de baja plasticidad para las 3 calicatas.	Según la clasificación SUCS se tiene un suelo CL y según AASHTO un suelo A-6 (arcilla arenosa de baja plasticidad)
<b>MUESTRA ESTIMULADA</b>	
<b>3% de adición</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•CALICATA 01, 02 Y 03: SUCS: CL, AASHTO: A-6, teniendo una arcilla arenosa de baja plasticidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•MP+04%D: SUCS: CL, AASHTO: A-12 (arcilla arenosa de baja plasticidad)</li> </ul>
<b>6% de adición</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•CALICATA 01, 02 Y 03: SUCS: CL, AASHTO: A-6, teniendo una arcilla arenosa de baja plasticidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•MP+06%D: SUCS: CL, AASHTO: A-12 (arcilla arenosa de baja plasticidad)</li> </ul>
<b>9% de adición</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•CALICATA 01: SUCS: CL, AASHTO: A-6, siendo una arcilla de baja plasticidad</li> <li>•CALICATA 02 Y 03: SUCS: CL, AASHTO: A-6, Teniendo una arcilla arenosa de baja plasticidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•MP+08%D: SUCS: CL, AASHTO: A-12 (arcilla arenosa de baja plasticidad)</li> </ul>
<b>12% de adición</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>•CALICATA 01: SUCS: CL, AASHTO: A-6, siendo una arcilla de baja plasticidad</li> <li>•CALICATA 02 Y 03: SUCS: CL, AASHTO: A-6, Teniendo una arcilla arenosa de baja plasticidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•MP+10%D: SUCS: CL, AASHTO: A-12 (arcilla arenosa de baja plasticidad)</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

La correlación mostrada en la tabla 5 permite asimilar la clasificación de suelos mediante la igualdad de los 2 sistemas, teniendo un suelo arcilloso según el Manual de Carreteras [4].

3. El **tercer objetivo** consiste en determinar el ensayo Proctor y California Bearing Ratio (CBR) al suelo con y sin la adición de polvo de restos de baldosa cerámica en porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12%, el cual permitirá verificar la máxima densidad seca del suelo, el porcentaje óptimo de agua y el soporte relativo del suelo.

Los resultados en la tabla N°53 puntualizan la máxima densidad seca y su óptimo contenido de humedad de cada calicata respecto a su adición. Como se observa en dicha tabla para la calicata 01 se evidencia que el OCH para la calicata 01 aumenta en 50% para todas las adiciones, teniendo un 12% de humedad; para la calicata 02 aumenta como máximo un 30% con respecto a 2 de las 4 adiciones, siendo un 13% de humedad; y para la calicata 03 aumenta un 40% respecto al 9% de adición como máximo, siendo

un 14% de humedad. Por otro lado, en tanto a la MDS, para la calicata 01 se tiene una disminución del 2.36% respecto al mayor porcentaje de adición (12%) con la muestra natural, siendo 2.030 gr/cm<sup>3</sup>; para la calita 02 se tiene un aumento minúsculo (0.15%) en tanto al segundo mayor porcentaje de adición (6%), siendo 1.995 gr/cm<sup>3</sup>; y para ultima calicata se tiene un aumento de un 2.6% en tanto al 9% de adición (1.975 gr/cm<sup>3</sup>) con respecto a la muestra patrón (1.925 gr/cm<sup>3</sup>).

Además, comparando los resultados con los antecedentes presentados en la revisión de la literatura se tiene similitud en tanto a la muestra patrón que se va a mejorar. Para Mora [7], la MDS es de 1.518 gr/cm<sup>3</sup>, con un OCH de 14.8%; por otro lado, Ccatamayo [10] tiene una MDS de 1.620 gr/cm<sup>3</sup> con un OCH de 14.75%; habiendo una variación del 33.73% con respecto a la menor densidad mostrada en los antecedentes (1.518 gr/cm<sup>3</sup>). Conjuntamente, para los resultados de las muestras con adición se tiene una MDS de 1.995gr/cm<sup>3</sup> máxima de todas las adiciones y todas las calicatas, que comparándolo con los resultados de la investigación de Mora [7], tiene un aumento de 7.95%; y para Ccatamayo [10], se tiene una MDS de 2.070 gr/cm<sup>3</sup>, superando por 1.60% a la de la presente investigación. A continuación, se muestra un cuadro comparativo del ensayo Proctor de la presente investigación con los antecedentes, mostrado lo indicado anteriormente:

*Tabla 72: Cuadro comparativo del ensayo Proctor con los antecedentes*

CUADRO COMPARTIVO DEL ENSAYO PROCTOR		
INVESTIGACIÓN	ANTECEDENTES	
	Mora (2023)	Ccatamayo (2023)
<b>MUESTRA PATRÓN</b>		
•Calicata 01: MDS=2.030 Y OCH=8% •Calicata 02: MDS=1.992 Y OCH=10% •Calicata 03: MDS=1.925 Y OCH=10%	MDS= 1.518 Y OCH=14.8%	MDS= 1.620 Y OCH=14.75%
<b>ADICIÓN</b>		
<b>3% de adición</b> •Calicata 01: MDS=1.990 Y OCH=12% •Calicata 02: MDS=1.970 Y OCH=12% •Calicata 03: MDS=1.890 Y OCH=13% <b>6% de adición</b> •Calicata 01: MDS=1.992 Y OCH=13% •Calicata 02: MDS=1.995 Y OCH=13% •Calicata 03: MDS=1.965 Y OCH=12% <b>9% de adición</b> •Calicata 01: MDS=1.990 Y OCH=12% •Calicata 02: MDS=1.975 Y OCH=12% •Calicata 03: MDS=1.975 Y OCH=14% <b>12% de adición</b> •Calicata 01: MDS=1.982 Y OCH=12% •Calicata 02: MDS=1.975 Y OCH=12% •Calicata 03: MDS=1.950 Y OCH=12%	MDS= 1.848 Y OCH=14.3%	<b>4% de adición</b> MDS=1.700 Y OCH=13.71% <b>6% de adición</b> MDS=1.940 Y OCH=10.34% <b>8% de adición</b> MDS=2.070 Y OCH=9.88% <b>10% de adición</b> MDS=2.020 Y OCH=9.74%

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados del ensayo CBR se muestran en la tabla N°54 detallan de manera resumida el CBR al 100% y 95% de su MDS en tanto a su porcentaje de adición. Teniendo así, un aumento del 125% con respecto a la muestra patrón (4%) de la calicata 1 y 2 (9%), en tanto al 9% y 12% de adición para el 100% de la MDS; por otro lado, en

la calicata 3 el CBR aumenta de 4% a 10% teniendo un incremento del 150% con respecto a la muestra patrón para el 100% de la MDS. Por otra parte, para el 95% de la MDS se tiene en tanto a la calicata 1 y 3 un aumento del 166.67% de los porcentajes del 9% y 12% de adición con respecto a la muestra patrón, mejorando de 3% a 8%; además, en la calicata 2 se tiene un 3% de CBR al 95% de la MDS en la muestra patrón y un 7% para el 9% y 12% de adición, mejorando así, en un 133.33% el CBR del suelo para esta muestra.

*Tabla 73: Cuadro comparativo del ensayo CBR con los antecedentes*

CUADRO COMPARTIVO DEL ENSAYO CBR		
INVESTIGACIÓN	ANTECEDENTES	
	Mora (2023)	Ccatamayo (2023)
<b>MUESTRA PATRÓN</b>		
•Calicata 01, 02 y 03: CBR al 100%=4% Y 95%=3%	CBR al 100%= 2.98%	CBR al 95%= 3.86%
<b>ADICIÓN</b>		
<b>3% de adición</b> •Calicata 01: CBR al 100% Y 95%=5% •Calicata 02: CBR al 100%=5% Y 95%=4% •Calicata 03: CBR al 100% Y 95%=5% <b>6% de adición</b> •Calicata 01: CBR al 100%=8% Y 95%=7% •Calicata 02: CBR al 100%=8% Y 95%=5% •Calicata 03: CBR al 100%=8% Y 95%=6% <b>9% de adición</b> •Calicata 01: CBR al 100%=9% Y 95%=8% •Calicata 02: CBR al 100%=9% Y 95%=7% •Calicata 03: CBR al 100%=10% Y 95%=8% <b>12% de adición</b> •Calicata 01: CBR al 100%=9% Y 95%=8% •Calicata 02: CBR al 100%=9% Y 95%=7% •Calicata 03: CBR al 100%=10% Y 95%=8%	CBR al 100%= 31.70%	<b>4% de adición</b> CBR al 95%= 7.58% <b>6% de adición</b> CBR al 95%= 10.68% <b>8% de adición</b> CBR al 95%= 11.54% <b>10% de adición</b> CBR al 95%= 9.12%

*Fuente: Elaboración propia*

Tal como se aprecia en la tabla anterior, Mora [7], tiene un CBR al 100% de 2.98% en la muestra patrón, siendo un 25% menos que el 4% de los resultados de la presente investigación; en tanto a la muestra modificada, se tiene un CBR de 31.70%, el cual es un 217% más que el mayor porcentaje de CBR al 100% de la investigación (10% para el 9% y 12% de adición de la calicata 3). Por otro lado, Ccatamayo [10] tiene un CBR al 95% de la MDS, con un valor de 11.54% al 8% de adición, siendo solo 15.4% más que el resultado más alto de la investigación planteada.

Finalmente, desde el 6% de adición para las 3 calicatas, a excepción de la calicata 2 al 95% de CBR, se aprecia que cumple con el % de CBR mínimo para realizar una estabilización de suelos establecido por la el Manual de Carreteras (6%).

4. El **cuarto objetivo** indica que se debe realizar un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de la muestra patrón y la muestra estimulada, para observar la disminución y/o aumento de dichas propiedades.

Para las propiedades físicas, se muestra que los resultados del límite líquido (LL), como se muestra en la figura N°46, tiene un aumento pronunciado para las 3 calicatas en tanto al primer porcentaje de adición (3%), aumentando un 17.37%, 12.04% y 23.03% para la calicata 1, 2 y 3 respectivamente en tanto a la muestra patrón. Sin embargo, para los porcentajes de 6%, 9% y 12% la variación de esta propiedad varía en pequeñas proporciones de cadencia; teniendo finalmente un aumento considerable del 0% (muestra patrón) hasta el 12% de adición, siendo un 17.31%, 17.56% y 17.28% para la calicata 1, 2 y 3 respectivamente, como se puede observar el aumento en porcentaje de las 3 calicatas es similar, variando solo en un 1.62% en tanto a la calicata 2 y 3. Por otro lado, en tanto al límite plástico (LP), como se observa en la figura N°47, se tiene que en la calicata 1, una variación considerable en tanto a los porcentajes de adición, siendo la de la muestra patrón hasta el 3% de adición la más notable, con un 30.67% menor al de la muestra natural, por otro lado, del 3% al 12% de adición aumenta de 12.5% a 16.42%, aumentando un 31.36%; en la calicata 2 se observa una pendiente casi recta, aumentando solo un 4.33% desde la muestra patrón hasta el 12% de adición. Finalmente, para el índice de plasticidad (IP) se tiene un comportamiento similar en las 3 calicatas, como se observa en la figura N°48, existe una considerable creciente desde la muestra patrón hasta el 3% de adición, siendo un incremento del 100.34%, 46.73% y 13.47% para las calicatas 1, 2 y 3 respectivamente; posteriormente se observa una decreciente por parte de las calicatas hasta el último porcentaje de adición, siendo de un 80.73%, 41.85% y 21.18 para la calicata 1, 2 y 3 respectivamente, desde la muestra patrón, hasta el mayor porcentaje de adición (12%).

*Tabla 74: Cuadro comparativo del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)*

CUADRO COMPARATIVO DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
INVESTIGACIÓN	ANTECEDENTES	
	Mora (2023)	Ccatamayo (2023)
LÍMITE LÍQUIDO (LL)		
MUESTRA PATRON		
•Calicata 01: LL=26.75% •Calicata 02: LL=25.45% •Calicata 03: LL=29.00%	LL=69.00%	LL=34.75%
ADICIÓN		
<b>3% de adición</b> •Calicata 01: LL=29.97% •Calicata 02: LL=29.87% •Calicata 03: LL=35.68% <b>6% de adición</b> •Calicata 01: LL=29.96% •Calicata 02: LL=28.15% •Calicata 03: LL=34.03% <b>9% de adición</b> •Calicata 01: LL=29.38% •Calicata 02: LL=28.15% •Calicata 03: LL=33.55% <b>12% de adición</b> •Calicata 01: LL=31.38% •Calicata 02: LL=29.92% •Calicata 03: LL=34.01%	•MEZCLA 1 (5%): LL=53% •MEZCLA 2 (25%): LL=44% •MEZCLA 3 (45%): LL=37%	<b>4% de adición</b> LL=32.49% <b>6% de adición</b> LL=30.73% <b>8% de adición</b> LL=28.29% <b>10% de adición</b> LL=28.62%

LÍMITE PLÁSTICO (LP)		
MUESTRA PATRÓN		
•Calicata 01: LP=18.03% •Calicata 02: LP=15.93% •Calicata 03: LP=16.49%	LP=33%	LP=15.82%
ADICIÓN		
<b>3% de adición</b> •Calicata 01: LP=12.50% •Calicata 02: LP=15.91% •Calicata 03: LP=17.72% <b>6% de adición</b> •Calicata 01: LP=14.89% •Calicata 02: LP=16.28% •Calicata 03: LP=18.06% <b>9% de adición</b> •Calicata 01: LP=13.24% •Calicata 02: LP=16.28% •Calicata 03: LP=18.38% <b>12% de adición</b> •Calicata 01: LP=16.63% •Calicata 02: LP=16.42% •Calicata 03: LP=18.86%	•MEZCLA 1 (5%): LP=31% •MEZCLA 2 (25%): LP=28% •MEZCLA 3 (45%): LP=27%	<b>4% de adición</b> LP=16.56% <b>6% de adición</b> LP=16.81% <b>8% de adición</b> LP=17.97% <b>10% de adición</b> LP=18.16%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)		
MUESTRA PATRÓN		
•Calicata 01: IP=8.72% •Calicata 02: IP=9.51% •Calicata 03: IP=12.51%	IP=36%	CBR al 95%= 3.86%
ADICIÓN		
<b>3% de adición</b> •Calicata 01: IP=17.47% •Calicata 02: IP=13.96% •Calicata 03: IP=17.96% <b>6% de adición</b> •Calicata 01: IP=15.07% •Calicata 02: IP=11.87% •Calicata 03: IP=15.98% <b>9% de adición</b> •Calicata 01: IP=16.14% •Calicata 02: IP=11.87% •Calicata 03: IP=15.17% <b>12% de adición</b> •Calicata 01: IP=15.76% •Calicata 02: IP=13.49% •Calicata 03: IP=15.16%	•MEZCLA 1 (5%): IP=22% •MEZCLA 2 (25%): IP=16% •MEZCLA 3 (45%): IP=10%	<b>4% de adición</b> IP=15.93% <b>6% de adición</b> IP=13.92% <b>8% de adición</b> IP=10.32% <b>10% de adición</b> IP=10.46%

*Fuente: Elaboración propia*

Para Mora [7], se tiene un límite líquido (LL) de 69%, un límite plástico (LP) de 33% y un índice de plasticidad (IP) de 36%, siendo 137.97%, 83.03% y 187.77% más que los valores más altos de cada calicata en tanto a la muestra patrón. En tanto, al límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) se tiene una disminución según sea la mayor cantidad de adición, lo que no ocurre en la presente investigación. Por otra parte, para Ccatamauo [10], de igual manera tiene una disminución del LL, LP e IP mientras aumenta la cantidad de adición, lo que no se presenta en los resultados de la presente investigación. De igual manera, según los resultados del IP de la investigación con los antecedentes dan a notar un suelo de media a alta plasticidad, como se muestra en la tabla N°02, teniendo un suelo arcilloso y muy arcilloso según el manual de carreteras de carreteras.

Para las propiedades mecánicas, en el ensayo de Proctor modificado se tiene que la MDS, como se observa en la figura N°49, del primer porcentaje de adición, hace que la pendiente disminuya en un 1.97%, 1.10% y 1.82% para la calicata 1, 2 y 3 respectivamente; por otro lado, se observa una disminución de la MDS referente a la muestra patrón con el 12% de adición para la calicata 1 y 2, disminuyendo 2.36% y 0.85%; referente a la calicata 3, se tiene un aumento de la MDS de un 1.30% pertinente

a la muestra patrón con el porcentaje máximo de adición. Además, se tiene un aumento en el OCH, siendo mayor en un 50%, 20% y 20% respecto al mayor porcentaje de adición con la muestra patrón para las calicatas 1,2 y 3 respectivamente (figura N°50). En tanto al 100% del CBR del suelo, como se observa en la figura N°51, se tiene una conducta similar en tanto a su aumento respecto al % de adición, evidenciando un 125% más respecto a la calicata 1 y 2 de la muestra matrón con el 12% de adición; y un 150% más en tanto a la calicata 3 en el intervalo ya mencionado. Para el CBR al 95%, de igual manera, se tiene un engrandecimiento, siendo del 166% para la calicata 1 y 3 respecto al 0% y 12% de adición, y del 133% para la calicata 2.

5. El **quinto objetivo** reside en realizar un análisis comparativo del estimulante usado en la presente investigación para la estabilización de suelos arcillosos en subrasante con otras metodologías.

Según las N°59-70, se evidencia que para la calicata 1 para el 3%, 6%, 9% y 12% de adición el costo unitario es de S/.44.13, S/.69.39, S/.94.65 y S/.119.92 respectivamente, teniendo un aumento del 171.74% en relación al menor y mayor porcentaje de adición; para la calicata 2 se tiene un costo unitario de S/.44.66, S/.68.45, S/.93.24 y S/.118.02 en tanto al 3%, 6%, 9% y 12% de adición, habiendo una diferencia del 164.26% en base al menor y mayor porcentaje de adición; finalmente, para la calicata 3, se tiene un costo de S/.42.82, S/.66.78, S/.90.73 y S/.114.69 en tanto al 3%, 6%, 9% y 12% de adición respectivamente, teniendo un incremento del 167.84% respecto al 3% y 12% de adición. Por otro lado, Llatas [24], menciona que el análisis de costos unitarios del batido de material con cal viva al 4% en subrasante con una profundidad de 0.60 m es de S/. 24.53, este bajo costo se debe al uso de maquinaria, aumentando así el rendimiento, al momento de realizar la mezcla entre la cal y la subrasante. Asimismo, para Huamán [25], el costo para la estabilización con cemento es de S/.2.30, S/.7.20 y S/.11.70 para el 1%, 3% y 5% de adición, siendo menor por el uso de maquinaria, aumentando así el rendimiento por m<sup>2</sup>, teniendo un menor costo.

## Conclusiones

- Se analizó el polvo de restos de baldosa cerámica en las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos, teniendo una mejora en base a las propiedades físicas, aumentando el límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP); y las propiedades mecánicas, disminuyendo la máxima densidad seca (MDS) en 2 calicatas, aumentando el óptimo contenido de humedad (OPH) y aumentando el CBR progresivamente para los 3 puntos de estudio.
- Se determinó las propiedades químicas del polvo de restos de baldosa cerámica mediante el ensayo de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X, teniendo una mayor presencia de óxido de calcio (CaO) y óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), con un 64.23% del total de la composición del aditivo.
- Se caracterizó las muestras de suelo mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), teniendo un tipo de suelo CL (arcilla de baja plasticidad) en tanto a la muestra patrón y las muestras con adición; además en la clasificación AASHTO se tiene un suelo A-4 (suelos arcillosos) para la calicata 1 y 2, mientras que para la calicata 3 se tiene un suelo A-6 (suelos arcillosos), en tanto a la muestra patrón; por otra parte todas las muestras con adición dan como resultado un suelo A-6.
- Se determinó el ensayo Proctor, teniendo una disminución de la máxima densidad seca (MDS) de la calicata 1 de 1.97% del 3% de adición, 1.87% de 6% de adición, 1.97% de 9% y 2.36% de 12% respecto a la muestra patrón; la calicata 2 presenta una disminución de 1.10% del 3% de adición, 0.85% del 9% y 12% de adición, y para el 6% de adición se tiene un aumento mínimo de 0.15% respecto a la muestra patrón; finalmente, en la calicata 3 se evidencia una disminución solo en el 3% de adición una diferencia de 1.81%, mientras que en el resto de adiciones aumenta 2.08%, 2.60% y 1.30% para el 6%, 9% y 12% respectivamente; en tanto al óptimo contenido de humedad (OCH) se tuvo un aumento en todas las adiciones respecto a la muestra patrón. Asimismo, se determinó el ensayo de CBR para determinar el soporte relativo del suelo, teniendo un CBR al 95% de la máxima densidad seca de 3%, 5%, 7%, 8% y 8% para los porcentajes de 0%, 3%, 6%, 9% y 12% de adición para la calicata 1; para la calicata 2 se tiene 3%, 4%, 5%, 7% y 7% para los porcentajes de 0%, 3%, 6%, 9% y 12% correspondientemente; finalmente para la calicata 3 se tiene 3%, 5%, 6%, 8% y 8% para los porcentajes de 0%, 3%, 6%, 9% y 12% de adición.

- Se realizó el análisis comparativo de las propiedades físicas, teniendo así, para el límite líquido un 17.37%, 12.04% y 23.03% para la calicata 1, 2 y 3 de manera correspondiente en tanto a la muestra patrón hasta el 3% de adición. Sin embargo, para los porcentajes de 6%, 9% y 12% la variación de esta propiedad varía en pequeñas proporciones; teniendo finalmente un aumento considerable del 0% (muestra patrón) hasta el 12% de adición, siendo un 17.31%, 17.56% y 17.28% para la calicata 1, 2 y 3 correspondientemente; el límite plástico, no varía según el análisis comparativo, teniendo una pendiente casi imperceptible para la calicata 2 y 3, sin embargo, la calicata 1 varía de manera considerable; en tanto al índice de plasticidad se tiene un aumento considerable del 0% al 3% de la adición y del 3% al 12% la pendiente que se tiene no es tan pronunciada. Asimismo, se realizó el análisis comparativo de las propiedades mecánicas, teniendo una disminución de la máxima densidad seca para la calicata 1 y 2 y un aumento en la calicata 3; el óptimo contenido aumento de manera considerable en términos de porcentaje para las 3 calicatas; y el CBR al 95% del suelo aumentó según el porcentaje de adición
- Se realizó el análisis comparativo del polvo de restos de baldosa cerámica, teniendo que el precio unitario de cada porcentaje de adición es de S/.43.54, S/.68.21, S/.92.87 y S/.117.54 en promedio de las 3 calicatas. Asimismo, el análisis con otras metodologías muestra que en base a los porcentajes de adición se tiene que el costo de este aditivo es mucho mayor en términos porcentuales, puesto que se planteó el APU con herramientas manuales, más no con maquinaria, como se estableció en las otras metodologías

## Recomendaciones

- Se recomienda utilizar diferentes proporciones de adición para mejorar los suelos arcillosos a nivel de subrasante para ampliar la investigación y determinar si efectivamente un mayor porcentaje de adición mejorará las propiedades físicas y mecánicas de estos suelos poco trabajables, logrando quizá encontrar un porcentaje óptimo con el cual se trabaje de manera reglamentaria.
- Se invita a realizar un estudio de caracterización de baldosa cerámica proveniente de escombreras y restos de trabajos menores en edificaciones, puesto que la composición varía según el modelo y la clase de trabajos que se realicen con dicha cerámica.
- Se insta a realizar un estudio ambiental detallado con el fin de contribuir al uso de prácticas sostenibles con respecto al manejo de residuos de construcción y demolición en el sector construcción.
- Se aconseja certificar el proceso para la obtención de resultados recopilados en la presente investigación, con ambientes que cumplan los estándares que menciona la norma y realizar un tramo de prueba con el fin de obtener resultados reales en campo, así como un monitoreo continuo durante dicha ejecución a fin de recopilar información verídica en condiciones reales de trabajo.
- Se recomienda realizar el análisis de precios unitarios (APU) con maquinaria, de esta manera al aumentar el rendimiento de las partidas, se obtendrá un menor costo por metro cuadrado al momento de realizar las partidas según el porcentaje de aditivo que se está añadiendo, teniendo una evaluación de costos más detallada y de igual manera un impacto directo en la calidad del mezclado.

## Referencias

- [1] C. M. Lucca M, «LAS VÍAS DE COMUNICACIÓN COMO CLAVE DEL DESARROLLO TERRITORIAL», Universidad Católica de Córdoba – Georgetown University, Argentina, 2015. [En línea]. Disponible en: [https://pa.bibdigital.ucc.edu.ar/158/1/TM\\_Gonzalez\\_Diaz.pdf](https://pa.bibdigital.ucc.edu.ar/158/1/TM_Gonzalez_Diaz.pdf)
- [2] «Carreteras que conforman el Clasificador de Rutas del SINAC (D.S.Nº 012-2013-MTC)», Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, Perú, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/renac.html>
- [3] «PLAN DE PREVENCIÓN ANTE DESASTRES: USOS DEL SUELO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN CIUDAD DE CHICLAY», Instituto Nacional de Defensa Civil, Chiclayo, may 2003. [En línea]. Disponible en: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3093>
- [4] «MANUAL DE CARRETERAS», Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/fwStP>
- [5] «El sector del azulejo en España», KLYNVELD PEAT MARWICK GOERDELER, España, may 2019. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/i6Nn>
- [6] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, «Diagnostico Residuos Sólidos de la Construcción y Demoliciones en el Perú», Perú, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/JPpC8Wy>
- [7] J. V. Mora Cedeño, «ANÁLISIS COMPARATIVO ESTABILIZACIÓN DE SUELO EXPANSIVO CON CAL Y ESTABILIZACIÓN DE SUELO EXPANSIVO CON MATERIALES EVACUADOS, CERÁMICA TRITURADA, HORMIGÓN TRITURADO Y CENIZA DE BAGAZO», Guayaquil, 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/6059/1/T-ULVR-4938.pdf>
- [8] S. Akshaya Kumar, «Stabilization of expansive soil using waste ceramic dust», *Enero de 2012*, vol. 17, pp. 3915-3926, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/IAGwuqe>
- [9] R. Pankaj y T. Suresh Kumar, «Soil Stabilization using Ceramic Waste: an Experimental Study», *09 de febrero de 2023*, vol. 14, pp. 47-55, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22044/jme.2023.12442.2259>
- [10] B. Ccatamayo Calderón, «APLICACIÓN DE RESIDUOS CERÁMICOS EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS FINOS DE LA SUBRASANTE EN SAN JOSE DE QUERO», UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES, Huancayo, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/5949>
- [11] A. R. Bravo Cipriano, «INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL AFIRMADO PARA BASE AL REEMPLAZO PARCIALMENTE POR RESIDUOS DE PORCELANATO Y CERÁMICO, LIMA NORTE 2021», Universidad Privada del Norte, Lima, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/0T8U2so>

- [12] «CE.020 Suelos y Taludes DS N° 017-2012», Lima, 2012. [En línea]. Disponible en: [https://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios\\_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf](https://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/NORMACE020.pdf)
- [13] J. R. Rico Rodríguez, *MECÁNICA DE SUELOS*, vol. I. México: Limusa Noriega Editores, 2011.
- [14] L. González de Vallejo, *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Madrid: Pearson Prentice Hall, 2002.
- [15] A. Y. Sánchez Delgado, «PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE LOS SUELOS». 2014. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/VB4v9gS>
- [16] «MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES», Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú, 2016. [En línea]. Disponible en: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_3729.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf)
- [17] Montejo Fonseca, *INGENIERÍA DE PAVIMENTOS*, vol. 2. Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones, 2002. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/QGO9SP>
- [18] O. J. Restrepo Baena, Baldosas cerámicas y gres porcelánico: Un mundo en permanente evolución. Colombia: Todográficas Ltda, 2011. [En línea]. Disponible en: [https://minas.medellin.unal.edu.co/images/CentroEditorial/Baldosas\\_ceramicas\\_y\\_gres\\_porcelanico.pdf](https://minas.medellin.unal.edu.co/images/CentroEditorial/Baldosas_ceramicas_y_gres_porcelanico.pdf)
- [19] J. Gómez Domínguez, *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. Monterrey. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/ZaanmFq>
- [20] «Baldosas cerámicas: conceptos básicos, tipos y características», RUBI BLOG, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.rubi.com/es/blog/baldosas-ceramicas/>
- [21] M. Borja Suárez, *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*. Chiclayo, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/9411060s.pdf>
- [22] «CE.010 PAVIEMTNOS URBANOS», Perú. [En línea]. Disponible en: <https://goo.su/IPK9D>
- [23] «Mapa de Pobreza Monetaria 2018», Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018. [En línea]. Disponible en: [https://webapp.inei.gob.pe/pobreza-m2018/archivos/2018/30\\_140101-CHICLAYO.pdf](https://webapp.inei.gob.pe/pobreza-m2018/archivos/2018/30_140101-CHICLAYO.pdf)
- [24] J. A. Llatas Contreras, “Uso de escorias siderúrgicas como alternativa para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de subrasantes en suelos arcillosos”, UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO, Chiclayo, 2023.

[25] E. Huamán Rojas, “Influencia de estabilizantes económicos en la estabilización de suelos arcillosos de la subrasante del pasaje San Martín en el distrito de Quinoa, Huamanga, Ayacucho, 2022”, Universidad Continental, Ayacucho.

**Anexos**

<https://drive.google.com/file/d/1qh6rGgNiZb4FZa0z5vCdIC9xG8kwafPf/view?usp=sharing>