

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Influencia del cemento portland tipo I en las propiedades físicas mecánicas de suelos expandibles para la cimentación de viviendas unifamiliares en el sector de Molinopata – Abancay- 2022.

Asesor:

MSc. Maldonado Mendivil Ángel

Autor:

Oscó Portillo Karina

Para optar el Título Profesional: Ingeniero civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025

Acta de sustentación



Universidad
Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 038

En la ciudad de Abancay, a los 25 días del mes de junio del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0468-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 11 de junio del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Dr. Erick, Alarcón Camacho
Dictaminante :	Ph. D. Abbon Alex, Vasquez Ramírez
Replicante :	Ing. Rubén, Gamarra Mota

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia del cemento portland tipo I en las propiedades físicas mecánicas de suelos expandibles para la cimentación de viviendas unifamiliares en el sector de Molinopata – Abancay – 2022.

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: KARINA, OSCO PORTILLO

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Osco Portillo, Karina	Aprobada

Siendo las 12:40m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Dr. Erick, Alarcón Camacho

Dictaminante: Ph. D. Abbon Alex, Vasquez Ramírez

Replicante: Ing. Rubén, Gamarra Mota

Abancay 02 de julio del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 338

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321569
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud






24% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 18%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 21%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Osco Portillo Karina
Tipo de Documento de Identidad	: Documento Nacional de Identidad
Número de Documento de Identidad	: 76679422
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0008-0533-3812
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Maldonado Mendivil Ángel
Tipo de Documento de Identidad	: Documento Nacional de Identidad
Número de Documento de Identidad	: 06788424
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de Investigación	: Gestión de la Infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	: 1 año
Fuente de financiamiento	: Centro de investigación
Porcentaje de similitud	: 24%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mis padres por darme la oportunidad de formarme como profesional, a mis hermanos por su respaldo incondicional, a mis abuelitos por su cariño absoluto y a mí misma por mi coraje, constancia en todas las fases de mi desarrollo profesional.

Agradecimientos

A Dios por su firme acompañamiento y hacer posible la conclusión de manera satisfactoria mi carrera profesional.

A mi madre Hermelinda por otorgarme su confianza, por proporcionarme siempre su apoyo incondicional, así como su fuerza, fortaleza, y darme la seguridad para lograr mis metas, así como mis objetivos trazados.

A mis hermanos por comprensión y apoyo constante. En especial a mis abuelitos que me llenaron de amor y me cuidaron en este camino y a toda mi familia por ser mi soporte en las distintas etapas de mi trayectoria profesional.

Resumen

La presente tesis como objetivo demostrar la influencia del cemento portland tipo I en la capacidad portante del suelo de cimentación de las viviendas unifamiliares del sector de Molinopata donde se añadió cantidades de 5%, 10%, 15% con el propósito de dar opciones de resolución a los problemas de inconsistencias del suelo. La metodología de la tesis tiene un enfoque cuantitativo, tipo aplicada y diseño experimental, nivel explicativo. La población son las cimentaciones de viviendas unifamiliares y la muestra es el suelo de una cimentación, su muestreo es no probabilístico cuya técnica es de observación e instrumentos son formatos. Los resultados demostrados con proporciones de 5%, 10%, 15% influyen en la capacidad portante del suelo por medio de pruebas de laboratorio, para la potencia al corte con respecto a la cohesión sus valores están entre 0.35 kg/cm^2 , 1.43 kg/cm^2 , 1.0 kg/cm^2 en comparación a 0.68 kg/cm^2 donde los valores son dispersos, para la resistencia al corte con respecto al ángulo de fricción sus valores están entre $26^{\circ}50'00''$, $25^{\circ}27'51''$, $33^{\circ}34'25''$ donde estos valores presentan un incremento en comparación a $23^{\circ}42'33''$ y finalmente para la consolidación presenta incrementos considerables pero son dispersos como de 4.32 kg/cm^2 en un 15% en comparación a 2.7 kg/cm^2 . Se concluye que las proporciones de 5%, 10%, 15% añadidas de Cemento Portland tipo I, influyen positivamente en las propiedades físicas, mecánicas en una muestra de suelo natural para la capacidad portante en suelos expansibles.

Palabras clave: suelos expansibles, cemento portland tipo I, propiedad mecánica, física, cimentación.

Abstract

The present thesis aims to demonstrate the influence of Portland cement type I on the bearing capacity of the foundation floor of single dwellings in the Molinopata sector, with proportions of 5%, 10%, 15% in order to propose an alternative solution to the problems of soil instability. The methodology of the thesis has a quantitative approach, applied type and experimental design, and explanatory level. Its population is the foundations of single dwellings and the sample is the floor of a foundation, its sampling is now probabilistic, whose technique is observation and instruments are formats. The results demonstrated with proportions of 5%, 10%, 15% influence the bearing capacity of the soil through laboratory tests, for the resistance to cutting with respect to cohesion their values are between 0.35 kg/cm², 1.43 kg/cm², 1.0 kg/cm² compared to 0.68 kg/cm² where the values are dispersed, for shear resistance with respect to the angle of friction their values are between 26°50 00", 25°27 51", 33°34 25" where these values show an increment compared to 23°42 33" and finally for the consolidation it shows considerable increments but are dispersed as of 4,32 kg/cm² in 15% compared to 2,7 kg/cm². Finally, the proportions of 5%, 10%, 15% added CP positively influence the physical, mechanical properties in a natural soil sample for bearing capacity in expansible soils.

Keywords: expansible floors, portland cement type I, mechanical property, physical property, foundation.

Índice

Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de anexos	xv
I.Introducción	16
II.Planteamiento del problema	17
2.1. Descripción y formulación del problema	17
2.2. Justificación e importancia.....	19
2.3. Hipótesis.....	20
2.4. Variables.....	21
2.5. Objetivos	21
2.5.1. Objetivo general.....	21
2.5.2. Objetivos específicos	21
III. Marco teórico	22
3.1 Antecedentes	22
3.2 Bases teóricas.....	27

3.2.1. Cimentaciones superficiales	27
3.2.2. Adición de cemento portland tipo I para la estabilización de suelos expandibles	44
3.3 Definición de términos.....	45
IV: Metodología	49
4.1. Tipo y nivel de investigación	49
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	49
4.3. Población y muestra	49
4.4. Instrumentos	50
4.5. Procedimientos	51
4.6. Análisis de datos.....	52
4.7. Consideraciones éticas	52
V. Resultados y discusión.....	53
5.1. Resultados	53
5.1.1. Resistencia al corte con respecto a la cohesión del suelo expandible mediante el ensayo de corte directo.....	53
5.1.2. Resistencia al corte con respecto al ángulo de fricción del suelo expandible mediante el ensayo de corte directo	67
5.1.3. Consolidación del suelo expandible mediante el ensayo edometrico .	72
- Prueba de hipótesis	80
5.2. Discusión de resultados.....	88
VI: Conclusiones.....	90
VII: Recomendaciones	92
VII: Referencias.....	93
IX: Anexos	103

Índice de tablas

Tabla 1 Número de puntos de exploración	28
Tabla 2 Aberturas y números de cribas	30
Tabla 3 Factores de capacidad de carga	40
Tabla 4 Ensayos realizados bajo las siguientes normas.....	51
Tabla 5 Propiedades químicas	55
Tabla 6 Resultados de la cribación	56
Tabla 7 Resultados de contenido de Humedad.....	57
Tabla 8 Clasificación de la muestra de suelo por el método SUCS	57
Tabla 9 Índice de plasticidad	57
Tabla 10 Esfuerzo cortante para una muestra de suelo sin adición de cemento.....	58
Tabla 11 Esfuerzo cortante para una muestra de suelo con adición del 5%	60
Tabla 12 Esfuerzo cortante para una muestra de suelo con adición del 10%	62
Tabla 13 Esfuerzo cortante para una muestra de suelo con adición del 15%	64
Tabla 14 Parámetros de resistencia.....	66
Tabla 15 Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición del 0% de cemento.....	67
Tabla 16 Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición del 5% de cemento.....	68
Tabla 17 Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición del 10% de cemento.....	69
Tabla 18 Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición del 15% de cemento.....	70
Tabla 19 Parámetros de resistencia con respecto al ángulo de fricción	71

Tabla 20 Proceso de descargas de la curva de compresión	72
Tabla 21 Proceso de descargas de la curva de expansión.....	73
Tabla 22 Proceso de descargas de la curva de compresión con 5% de cemento....	74
Tabla 23 Proceso de descargas de la curva de expansión con 5% de cemento	74
Tabla 24 Proceso de descargas de la curva de compresión con 10% de cemento..	76
Tabla 25 Proceso de descargas de la curva de expansión con 10% de cemento	76
Tabla 26 Proceso de descargas de la curva de compresión con 15% de cemento..	77
Tabla 27 Proceso de descargas de la curva de expansión con 15% de cemento	78
Tabla 28 Parámetros edometricos.....	79
Tabla 29 Valores de estadística	81
Tabla 30 Análisis de varianza para la cohesión.....	82
Tabla 31 Diferencia de medias de la cohesión	82
Tabla 32 Valores de estadística	84
Tabla 33 Análisis de varianza del ángulo de fricción.....	84
Tabla 34 Diferencia de medias del ángulo de fricción	85
Tabla 35 Valores de estadística	86
Tabla 36 Análisis de varianza de la consolidación.....	87
Tabla 37 Diferencia de medias de la consolidación	87

Índice de figuras

Figura 1 Tipos de cimentaciones	28
Figura 2 Profundidad de cimentación "p"	30
Figura 3 Límites de Atterberg	32
Figura 4 Clasificación por el método SUCS	32
Figura 5 Carta de plasticidad	33
Figura 6 Método de ensayo de corte directo	34
Figura 7 Esfuerzo cortante versus Esfuerzo normal.....	36
Figura 8 Tipos de fallas en las cimentaciones	37
Figura 9 Zona de estudio Molinopata.....	53
Figura 10 Ubicación de calicatas.....	54
Figura 11 Extracción de muestras	54
Figura 12 Corte directo para una muestra de suelo natural	59
Figura 13 Corte directo para una muestra de suelo con 5% de adición	61
Figura 14 Corte directo para una muestra de suelo con 10% de adición	63
Figura 15 Corte directo para una muestra de suelo con 15% de adición	65
Figura 16 Resumen de resultados de la cohesion.....	67
Figura 17 Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una muestra natural sin adición de cemento	68
Figura 18 Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una muestra natural con adición de cemento al 5%	69
Figura 19 Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una muestra natural con adición de cemento al 10%	70
Figura 20 Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una muestra natural con adición de cemento al 15%	71

Figura 21 Curvas de compresión y expansión para una muestra sin cemento	73
Figura 22 Curvas de compresión y expansión para una muestra con cemento de 5%	75
Figura 23 Curvas de compresión y expansión para una muestra con cemento de 10%	77
Figura 24 Curvas de compresión y expansión para una muestra con cemento de 15%	78
Figura 25 Presión versus cemento	80

Índice de anexos

Anexo 01: Operacionalización de variables.....	104
Anexo 02: Matriz de consistencia	106
Anexo 03: Reporte de ensayos de laboratorio.....	108
Anexo 04: Reporte de calibración de equipos.....	214
Anexo 05: Panel fotográfico	224

I. Introducción

En el Perú se construyen viviendas en zonas rurales y periurbanas donde se contraponen a una sarta de desafíos desde la credibilidad del tipo de material, así como la competencia técnica de los constructores. Sin embargo, la condición del suelo es vital por ende es un elemento crítico que afecta indirectamente la capacidad portante de las viviendas construidas artesanalmente en franjas periurbanas. Los cambios permanentes para ayudar a estabilizar un suelo que sobre esta esté una cimentación es generar cambios considerables y volverlas idóneas en un tiempo a corto plazo.

La tesis se basa en los discernimientos de la norma E.050 de Suelos y Cimentaciones, así como en la teoría de Braja M Das donde se alcanzó los resultados ansiados mediante ensayos de laboratorio en las propiedades físicas, mecánicas modificadas con incorporación de cemento portland tipo I. Los ensayos de corte directo, tanto como la cohesión, ángulo de fricción están complementadas con la prueba de la pre consolidación donde a través de 01 calicata se obtuvo una muestra de suelo natural para modificarla con CP en el sector de Molinopata.

La tesis está basada en cuatro capítulos, en el primer capítulo se precisa información exacta de la realidad problemática, objetivos, justificación e hipótesis. Se contextualiza los antecedentes, bases teóricas donde abarca el marco teórico en el segundo capítulo. La metodología, tipo, nivel, método, diseño, muestra, procedimiento, exploración de datos y la ética como capítulo III. Los resultados, prueba de hipótesis, discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones como puntos más relevantes en esta tesis se precisan en el capítulo IV.

II. Planteamiento del problema

2.1.Descripción y formulación del problema

- Descripción del problema

A nivel mundial los países como Canadá, Costa Rica, Estados Unidos, México, Turquía y demás países presentan suelos expandibles que afectan el rubro de la construcción, en 1930 por primera vez se identificaron este tipo de suelos que traen problemas en la estabilidad. Actualmente los daños causados en las edificaciones encima de suelos expandibles exceden los dos billones de dólares que esto representa un 5% de pérdidas a nivel global. Esta afección es un indicativo en la actualidad que el suelo necesita modificaciones que implican alteraciones químicas, mecánicas para alcanzar una base adecuada y sólida. (Zuluaga, 2024)

En Brasil sus suelos no contemplan las características físicas, mecánicas capaces de soportar los efectos causados por el clima. Sin embargo, se estima que el 10% de las viviendas sufren severas fallas en sus cimentaciones, las fallas más comunes son asentamientos diferenciales, cambios de volumen, cambios de humedad cuando están en un estado saturado. “Un indicativo claro se presenta en el estado de Agua donde su suelo no alcanza superar un CBR mayor al 95% y se clasifica como un suelo arcilloso arenoso con muy poca plasticidad en el estado”. (Romanelli, 2019)

En los últimos años un número notable de edificaciones de la ciudad de Bogotá capital de Colombia se han visto consumados por los hundimientos que estos casos son más relevantes por el evidente declive y resquebrajamiento de los frontis. Bogotá es localizada en un vasto relleno sedimentario con poca consolidación que compone la sabana, el 25% de esta zona mostro problemas de agrietamientos e inclinaciones de varias edificaciones donde se evidencia desconocimientos de normas básicas de construcción que aumentan los

problemas de la sabana de Bogotá. Según el ingeniero Luis Fernando Orozco que ha sido encargado de más de diecinueve mil estudios de suelos así como su observación para cimentaciones de edificios, puentes urbanos que están sobre ríos, túneles, pavimentos y demás obras civiles indica que las propiedades mecánicas de los suelos es de usar recientes métodos de excavaciones profundas para cinco pisos subterráneos en suelos blandos por ende es fundamental que las cimentaciones cumplan con la transferencia de carga al estrato indicado donde deben ser eficientes y estables. (Álvarez, 2024)

En el Perú existe un aumento demográfico de forma acelerada como consecuencia es de necesidad primordial contar con una vivienda que se aumente la opción de cimentar viviendas en zonas aledañas a la ciudad, esto conlleva a una construcción de manera artesanal, según el colegio de arquitectos del Perú identifica que se construyen miles de viviendas artesanales en un año a esto sumado se ven claramente riesgos con las cimentaciones defectuosas sobre terrenos expansivos. Para intervenir una cimentación en estado precario es muy compleja y costosa que puede aumentar los gastos por reparación hasta un 100%. En posterior es de evitar gastos por una deficiente construcción por el desconocimiento o la acelerada manera de contar con un techo propio. (CAP, 2018)

Para un mejor análisis se visitó el lugar de estudio y visualmente se inspecciono las viviendas unifamiliares en la zona de Molinopata donde este presenta un suelo arcilloso que esto conlleva a problemas en sus cimentaciones de las viviendas existentes por ende se genera asentamientos diferenciales, así como cambios de volumen, cambios de humedad cuando se saturan. Abancay en sus zonas aledañas así también como Moyocorral es zona arcillosa según (Chipana, 2022) indica que al inspeccionar una escuela esta misma presenta fracturas en varios puntos, resquebrajaduras en las paredes de los ambientes, aberturas en los amarres de los muros. Defensa civil menciona que las fisuras existentes en el piso, así

como en las aulas, veredas e instalaciones son debido a asentamientos en el terreno que han sido construidos sobre este por ende conlleva a un suelo expandible, húmedo y peligroso.

- **Formulación del Problema**

➤ **Problema general**

- ¿Cuál es la influencia del cemento portland tipo I en las propiedades físicas mecánicas de suelos expandibles para la cimentación de viviendas unifamiliares en el sector de Molinopata – Abancay 2022?

➤ **Problemas específicos**

- ¿Cuál es la influencia del cemento portland tipo I al 5%, 10%, 15% en la resistencia al corte con respecto a la cohesión del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo?
- ¿Cuál es la influencia del cemento portland tipo I al 5%, 10%, 15% en la resistencia al corte con respecto al ángulo de fricción del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo?
- ¿Cuál es la influencia del cemento portland tipo I al 5%, 10%, 15% con respecto a la consolidación del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo edométrico?

2.2. Justificación e importancia

Los antecedentes mencionados muestran alteraciones en sus construcciones por las condiciones del suelo y a su vez en una menor capacidad portante del suelo de la zona de Molinopata, esto nos conlleva a construir las cimentaciones de mayores dimensiones. Sin embargo, el costo debe ser mayor para construir una estructura sobredimensionada para este tipo de suelo que presente un menor riesgo a los habitantes de cada vivienda. La tesis en mención contiene un enfoque metodológico, así como estructurado mediante pruebas de

laboratorio que ayuden a establecer un rango de modificación en cuestión del suelo como alterado, es una realidad contribuir a la mejora continua mediante nuevas técnicas de modificación como es el cemento portland (CP) en distintos porcentajes que esto representa una gran relevancia para las propiedades geotécnicas del suelo.

Se justifica desde el punto de vista tecnológico que tiende a incrementar la resistencia del suelo mediante la incorporación de CP en sus propiedades geotécnicas. Innovar una nueva tecnología es de suma importancia para aumentar la resistencia al corte. El tema económico es justificable debido a que se mide el costo que esto trae una demanda que cierra una brecha de problema generado por factores climáticos. En un mediano a largo plazo es de reducir gastos ocasionados si en un futuro existe asentamientos producidos por cimentar sobre un suelo expandible. Desde lo sociable es incorporar el CP a la propiedad geotécnica del suelo mediante tratamientos esto evitara tempranas disgregaciones, asentamientos, fisuras, cambios de volumen y cambios de humedad. Abordar una problemática de realidad actual que son las cimentaciones que están hechas artesanalmente lleva a mayores gastos en un futuro por ende el Perú a corto plazo padece de soluciones inmediatas.

2.3. Hipótesis

➤ Hipótesis general

- El cemento portland tipo I influye en las propiedades físicas mecánicas de suelos expandibles para la cimentación de viviendas unifamiliares en el sector de Molinopata – Abancay 2022.

➤ Hipótesis específicas

- El cemento portland tipo I al 5%, 10%, 15% influye en la resistencia al corte con respecto a la cohesión del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo.

- El cemento portland tipo I al 5%, 10%, 15% influye en la resistencia al corte con respecto al ángulo de fricción del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo.
- El cemento portland tipo I al 5%, 10%, 15% influye en la consolidación del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo edométrico.

2.4. Variables

- Variable independiente

X1: Cemento portland tipo I.

- Variable dependiente

- Y1: Propiedades físicas mecánicas.

2.5. Objetivos

2.5.1. *Objetivo general*

- Determinar la influencia del cemento portland tipo I en las propiedades físicas mecánicas de suelos expandibles para la cimentación de viviendas unifamiliares en el sector de Molinopata – Abancay 2022.

2.5.2. *Objetivos específicos*

- Analizar la influencia del cemento portland tipo I al 5%, 10%, 15% en la resistencia al corte con respecto a la cohesión del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo.
- Demostrar la influencia del cemento portland tipo I al 5%, 10%, 15% en la resistencia al corte con respecto al ángulo de fricción del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo.

- Demostrar la influencia del cemento portland tipo I al 5%, 10%, 15% con respecto a la consolidación del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo edométrico.

III. Marco teórico

3.1 Antecedentes

- A nivel internacional:

Cortez, (2019). Manifiesta en su tesis que realizó la aplicación a través del ensayo de consolidación unidimensional para la obtención de especímenes de la calle Buenos Aires del departamento de la Paz. Su metodología se basó con enfoque cuantitativo con diseño experimental y su población está integrado por la calle de Buenos Aires donde su muestra fueron 02 calicatas. Sus resultados alcanzados mediante el ensayo de consolidación se obtuvieron 02 curvas de consolidación mediante el método de Taylor donde este representa un 46.57% para un asentamiento de consolidación secundaria, mientras por el método de Casagrande no pudo obtenerse los resultados requeridos. Donde concluye que existe una mayor consolidación para un asentamiento de consolidación secundaria para efectos de una curva edométrica, finalmente la deformación que se genera en distintas muestras es de un asentamiento de 0.38 cm.

Jurado & Clavijo, (2016). Manifiesta en su tesis que su objetivo es de enriquecer las peculiaridades tangibles y espontáneas del suelo mediante la unión con diferentes porcentajes de cemento tipo MH. Su metodología comprende varias fases: recopilación de información, muestreo, pruebas en laboratorio, observación, confrontación de resultados, conclusiones, en la fase de resultados donde se alcanzó que el suelo muestra un valor aproximado de 3.88% de material natural y se codifica como un suelo de menor contenido

orgánico, conforme a la norma ASTM D – 4427. Como conclusión final esta tesis permitió una mejor aplicación del cemento tipo MH, como un buen aditivo para estabilizar los suelos, con una dosificación de 6 a 15% de cemento aplicado a suelo natural.

Roca & Tomalá, (2023). Manifiesta en su tesis que analizó el comportamiento físico, mecánico de los suelos en la parte de Ancón. Tiene una metodología que integra tanto la recopilación de datos empleando métodos de forma directa o indirecta con un enfoque cuantitativo. Sus resultados detallan mediante la observación sus propiedades de los suelos expansivos en la parte de Ancón donde se identificó adiciones con respecto a una muestra de suelo natural. Donde existe correlación entre su magnitud expansiva y demás comportamientos geotécnicos para tomar decisiones en el diseño de las cimentaciones para estructuras únicas. Finalmente tiene una significancia altamente para entender la respuesta geotécnica de los distintos tipos de suelos expansivos frente a una cimentación, esta tesis brinda una base sólida a diversas investigaciones posteriores dando una amplia gama de conocimiento sobre la planificación y ejecución de diversos megaproyectos de ingeniería de la zona ya mencionada.

Salinas & Villao, (2019). Manifiesta en su tesis que tuvo como fin consolidar un suelo expansivo en el centro poblado de Bajadita de Colonche de cantón de Santa Elena mediante la incorporación de cal, sal y geoceldas en porcentajes de 3%, 5% y 7%. Tiene diseño experimental con enfoque cuantitativo y un nivel explicativo que data a esta tesis. Se basó en tres métodos empíricos como cal, sal y geoceldas donde comparó con una muestra de suelo natural con un fin de estabilizar y ver el comportamiento geotécnico del suelo donde se evaluó el costo – beneficio de manera que el suelo no pierda sus propiedades. Finalmente las combinaciones nos mostraron resultados con adiciones de 3%, 5%, 7% que sí influyen significativamente para estabilizar un suelo expansivo con fines de cimentación donde se

tiene una reducción en la compactación del 3% a través del ensayo de corte directo que esto a su vez es complementado con el ensayo de consolidación.

Caicedo & Patarroyo, (2017). Manifiesta en su estudio que analizó el comportamiento de una arcilla expansiva mediante un incremento de agua que ha sido sometida. Tiene un diseño experimental con recolección de datos proyectivo con el nivel explicativo. Sus resultados mostraron técnicas de desarrollo donde se realizó una modelación que centrifuga y se puso una porosimetría que tiene intrusión de mercurio, después se efectuaron pruebas para alcanzar los criterios geotécnicos de suelos expansivos que contiene arcillas, se aplicaron límites de Atterberg que tienen materia orgánica. Finalmente se obtuvo un potencial que contiene expansión con una deformación controlada y con una curva que tiene características que retiene humedad en un 10%.

- **A nivel nacional:**

Baquerizo, (2015). Manifiesta en su estudio que al ejecutar un estudio geotécnico del suelo en el lugar donde está ubicado el complejo deportivo, a fin de disponer las condiciones necesarias del suelo para diseñar las cimentaciones, se estudió comprende cuatro fases: la primera es la adquisición y el estudio de los datos existentes, la segunda el reconocimiento del lugar, la tercera es ensayar en laboratorio, y para finalizar el trabajo corresponde a gabinete. Su análisis de los datos logrados nos muestra resultados de la prueba de agotamiento, recuperación donde se obtuvo un coeficiente de permeabilidad promedio de 7×10^{-5} m/s, de la prueba de infiltración resultó un coeficiente de permeabilidad de $3,54 \times 10^{-5}$ m/s. Finalmente como conclusión se debe diseñar una cimentación donde la presión máxima no exceda a 12.70 tn/m^2 en las zapatas y en los cimientos corridos no sobrepasen las cargas de servicio.

Castillo, (2018). Manifiesta en su tesis que su intención fue precisar la “influencia de la incorporación de aditivos químicos para la estabilización de suelos cohesivos en la subrasante en pavimentos”. La tesis tiene diseño experimental con un enfoque cuantitativo de nivel explicativo. Sus resultados con distintas pruebas como en la densidad seca son de 1.365 a 1.720 gr/cm³, la humedad óptima contempla de un 14 - 20%, estos parámetros nos aseguran que lograremos alcanzar las propiedades deseadas dando como conclusión que el aditivo utilizado favorece a las propiedades mecánicas del suelo con una proporción de 0.27 lts/m³ de aditivo líquido y 45 kg/m³ de cemento portland, ya que la capacidad de resistencia se incrementó considerablemente.

Cruz, (2016). Manifiesta que su objetivo es determinar los motivos de lesiones estructurales y el desgaste ocasionados en cimentaciones de viviendas autoconstruidas en una zona de estudio identificada, donde este estudio marca un análisis y establece mecanismos de control. Su metodología comprende desde un diseño pre experimental, nivel explicativo, datos de recolección proyectivo y con enfoque cuantitativo. Sus resultados en la densidad máxima seca nos indica que el suelo no puede ser utilizado como relleno, para una densidad compactada se obtiene menores valores que no cumplen los parámetros. Finalmente concluye que las viviendas analizadas en el lugar de estudio se asientan en el terreno de fundación obtenido gran contenido de humedad por lo cual no es recomendable porque su capacidad portante es muy baja por ende presenta daños estructurales en sus elementos aporricados.

Goñas & Saldaña, (2020). Manifiesta en su tesis que evalúo el actuar de la ceniza de volante resultante de la combustión de carbón para estabilizar un suelo expansible como capa de rodamiento en la estructura de pavimento, maneja un diseño de tipo exploratorio. Sus resultados con ceniza de tipo F aumentan considerablemente en un 70%, su resistencia a un

9% de dosificación a un 20% de ceniza con un 80% de arcilla como reemplazo. Concluye que la adición de ceniza como estabilizante es factible para mejorar una subrasante donde el aditivo puede ser usado como capa de rodamiento.

Mamani, (2022). Señala en su tesis que determinó las propiedades con la adición de cal y ceniza de quinua en una vía para estabilizar un suelo expansivo. Su metodología es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, diseño experimental y comprende una población desde la progresiva 19+000 hasta 20+250, su muestra son de 03 calicatas donde no existe el muestro probabilístico. Sus resultados demostraron que al añadir un 100% de ceniza de quinua el CBR alcanzó un valor de 32%, para una adición del 5% de cal y 9% de ceniza de quinua alcanzó un CBR de 25.5% al comparar con una muestra patrón. Finaliza que la adición de cal y ceniza de quinua contribuye considerablemente para la resistencia.

- **A nivel local**

López, (2018). Expone en su tesis que determinó las ventajas para estabilizar con adición de cal en una subrasante arcillosa. Tiene como objetivo alcanzar una dosificación de cal en pruebas de laboratorio, su método es cuantitativo con diseño experimental y nivel explicativo. Los resultados alcanzados se realizaron mediante la metodología “Eades & Grim” donde al añadir un 8% a un estrato se logró estabilizarlo. Finalmente la tesis nos muestra mejores resultados de estabilización para suelos expansivos y se obtuvo una dosificación de 7% que cumple con los parámetros básicos.

Cano & Cardenas, (2021). Manifiesta en su tesis que determinó el comportamiento mecánico, índice incorporando ceniza de bagazo de cañaduz (CBC). Su método es deductivo con enfoque experimental y de nivel explicativo, el muestro es probabilístico donde se procedió con la técnica observacional. Sus resultados demostraron que al añadir un 5% de

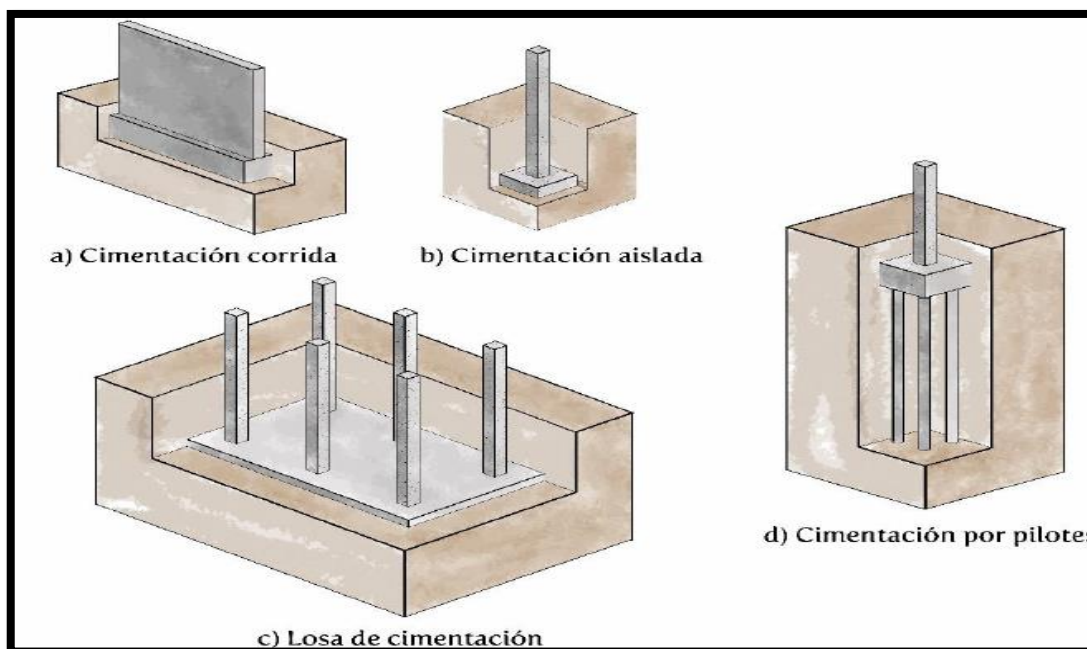
CBC su IP disminuye y su MDS también disminuye en porcentajes en relación al CBR. Para un 10% de adición existe un incremento del 52.96%, finalmente se dice que la adición influye considerablemente en los suelos expansivos.

Chipana, (2022). Manifiesta en su tesis que analizó la incorporación de cal y cemento en el suelo para optimizar la capacidad portante del suelo para la fundación de las viviendas en el sector Moyocorral. Tiene como nivel explicativo con enfoque cuantitativo y diseño experimental, donde su muestreo es no probabilístico comúnmente conocido como conveniencia. Las proporciones añadidas fueron de 6%, 12%, 18%, para la resistencia al corte como indicador importante como la cohesión y el ángulo de fricción aumentaron considerablemente en relación a la muestra de suelo base, en un 12% las cantidades dan resultados convenientes para incorporar y mejorar la resistencia al corte así como, mejorar la capacidad portante del suelo.

3.2 Bases teóricas

3.2.1. *Cimentaciones superficiales*

Los esfuerzos producidos son componentes que se concentran en las cimentaciones que son transmitidos al suelo mediante edificaciones, donde se produce esfuerzos cuya forma deben ser aceptados y no alteren la capacidad portante del suelo. Comprende de dos categorías: cimentación profunda, así como cimentación superficial, la cimentación profunda es de soportar por estratos más grandes de lo habitual, en cambio la cimentación superficial es a menores profundidades. “Según la conexión de profundidad y ancho (D_f/B) es menor o igual a cinco para cimentación superficial donde D_f es el desplante y B es el diámetro”. La figura 1 nos muestra específicamente diferentes cimentaciones por ende no son las únicas porque depende del tipo de estructura, así como de las condiciones del suelo. (RNE, 2021)

Figura 1*Tipos de cimentaciones*

Nota: a), b), c) son de tipo cimentación superficial y d) es cimentación profunda. Adaptado del (RNE, 2021)

Exploraciones de muestreo y suelo. Se basa en un tipo de estudio donde pretende alcanzar sus características en campo, así como el nivel freático que presenta un suelo a través de puntos de exploración a una profundidad adecuada.

La exploración y su número de puntos. Considerando la Norma Técnica Peruana (E.050, 2018), se manifiesta un número de puntos para llevar a cabo el muestreo para una evaluación geotécnica donde depende del tipo de estructura y el dimensión que ocupa. Se ve en la tabla 1 la cantidad de puntos por un área de ocupación.

Tabla 1*Número de puntos de exploración*

Número de puntos de exploración	
Tipo de estructura	Número de puntos de exploración (n)
I	De 225 m ² de área techada es de uno.
II	De 450 m ² de área techada es de uno.
III	De 900 m ² de área techada es de uno.
IV	De 100 m de instalaciones de agua y alcantarillado en obras dentro del área urbana.
En función de 3 pisos de vivienda unifamiliar para habilitación urbana.	Por hectárea habilitada es de 3.

Nota. Se muestra la cuantía de puntos de exploración por el tipo de estructura e importancia adaptada de (E.050, 2018).

Por punto de exploración su profundidad mínima. Depende básicamente del fin del estudio y sus propiedades del suelo, para una profundidad de inspección en cada muestra donde se pretende edificar una estructura, según (E.050, 2018) debe ser preciso para dimensionar una cimentación de una edificación donde el cálculo es la profundidad “p” con las siguientes ecuaciones. (p.32)

EC - 1 Edificación sin sótano su profundidad de exploración

$$p = D_f + z$$

.....(1)

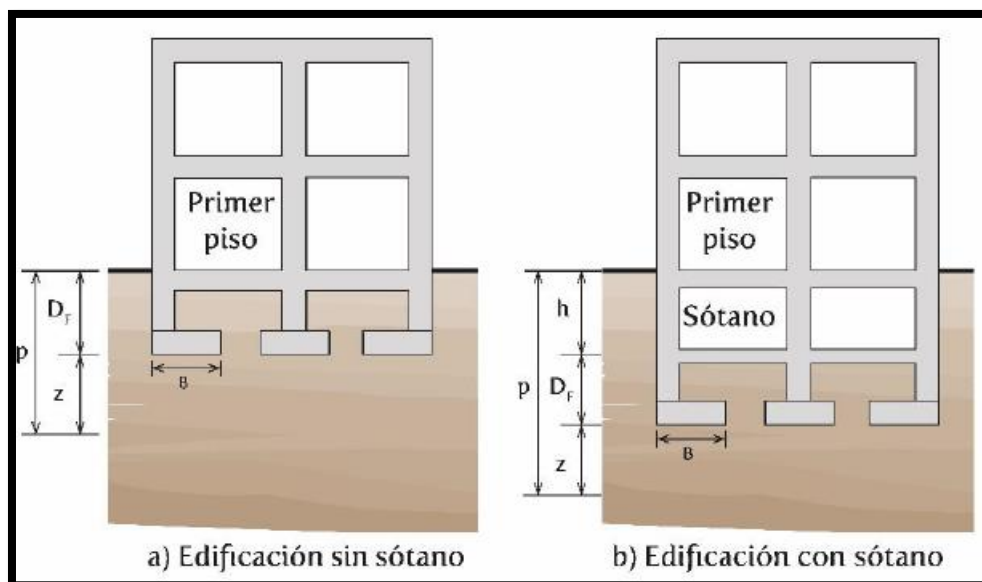
EC - 2 Edificación con sótano para su profundidad de exploración

$$p = h + D_f + z$$

.....(2)

Figura 2

Profundidad de cimentación "p"



Nota. La zapata es B y z es 1.5 veces B , donde p no es menor a tres metros en estructuras

sin sótano y no menor a seis metros en estructuras con sótano. Adaptado de (E.050, 2018).

Las propiedades geotécnicas del suelo. Es una propiedad o característica donde el índice de plasticidad, donde la compactación se trabaja en un laboratorio para la obtención de sus propiedades.

Análisis granulométrico. Las distintas partículas que son de una parte de suelo tienen distintas formas por sus dimensiones, por ende, es distribuir granulométricamente por cribas para su clasificación. Mediante el tamizado se separa por su forma las distintas muestras de suelo, según su forma y dimensión de un suelo deshidratado sin muestras finas.

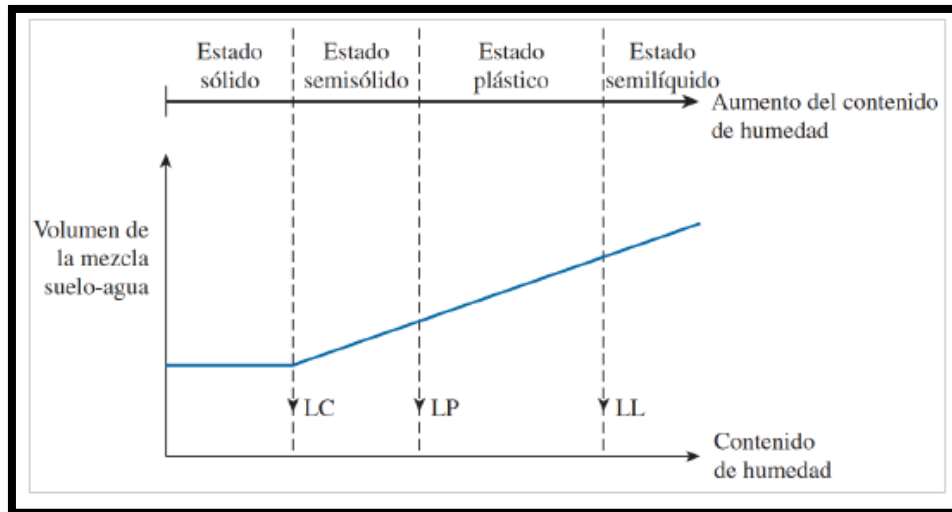
Tabla 2

Aberturas y números de cribas

Número	Abertura (mm)
4	4.75
6	3.35
8	2.36
10	2
16	1.18
20	0.85
30	0.6
40	0.425
50	0.3
60	0.25
80	0.18
100	0.15
140	0.11
170	0.088
200	0.075
270	0.05

Nota. Se representa el número de malla y su abertura en mm de los tamices que se utilizan para practicar ensayos de suelos adaptado de (Braja, 2011).

Límites de consistencia. Al saturarse de agua un suelo sus partículas de manera excesiva tienden a comportarse en un estado líquido, pero en suelo con bajo contenido de agua este tiende a un comportamiento de estado sólido. Se interpreta un límite líquido como una condición que un suelo está saturado por agua, pero un límite plástico se considera cuando este no está saturado por agua. (Braja, 2011)

Figura 3*Límites de Atterberg*

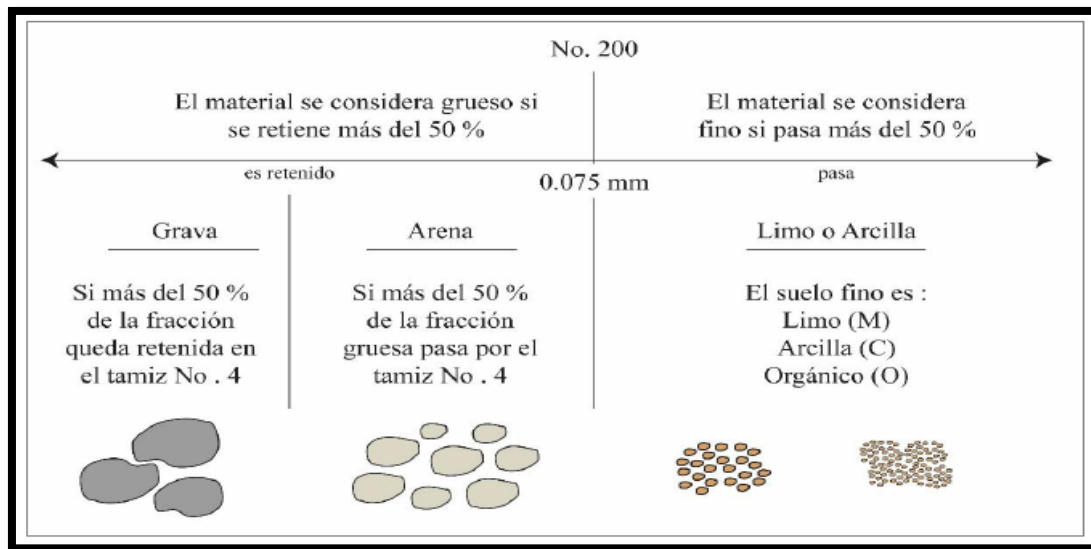
Nota. Se representa los límites de Atterberg, que a medida que el agua aumenta tiende a saturarse más el suelo tomado de (Braja, 2011).

EC - 3 Índice plástico

$$IP = LL - LP \dots\dots\dots(3)$$

Sistema de clasificación de suelos. Se entiende por clasificación las diferentes muestras de suelo donde se utilizan sistemas ya comúnmente conocidos que se determinan sus propiedades físicas por medio de la granulometría y su saturación. Son dos sistemas ya conocidos: AASHTO y SUCS donde este es utilizado para edificaciones. Este método considera dos grupos donde el primero contiene partículas gruesas y el segundo es de contener partículas finas por ende pasan la malla N°200 se visualiza a mayor detalle en la siguiente figura.

Figura 4*Clasificación por el método SUCS*

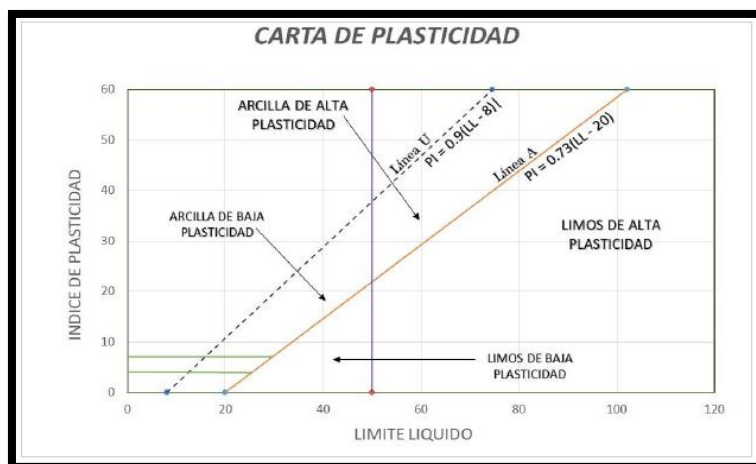


Nota. Se representa la agrupación de dos grupos de distintas dimensiones donde en una malla No. 200 clasifica si es fino o grueso adaptado de (Bowles J. , 1990).

Se entiende que mayor a un 12% del material final se comprende que el suelo tiene mayor porcentaje de limo, así como arcilla. Si se trata de un suelo ya mencionado es determinar sus propiedades mecánicas. Es un método conocido aplicar Casagrande donde en su carta de plasticidad clasifica si un suelo es altamente plástico.

Figura 5

Carta de plasticidad



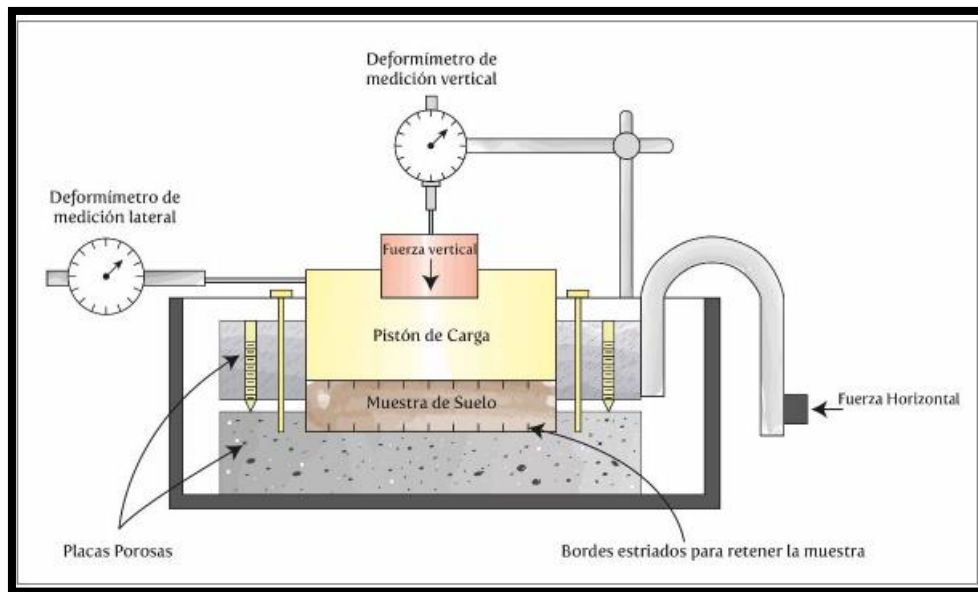
Nota. Se representa la carta de plasticidad donde indica ciertos parámetros para determinar si un suelo es altamente plástico adaptado de (Bowles J. , 1990).

Propiedades de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Se entiende como capacidad portante del suelo cuando se determina la resistencia al corte por la influencia que es crucial en un suelo. “La resistencia depende del tipo de suelo, profundidad, presencia de alteraciones estructurales, saturación capilar, contenido de humedad y filtración” (Huanca, 1996). Sus propiedades se darán mediante ensayos de laboratorio donde se puede aplicar el triaxial o corte directo (p. 82).

Resistencia al corte directo. Este ensayo determinara las condiciones del suelo en un contexto donde actúan cargas simuladas o esfuerzos verticales P_v y cargas horizontales de esfuerzo cortante P_h , estas compresiones simulan un aparato de corte directo en una muestra de suelo.

Figura 6

Método de ensayo de corte directo



Nota. Se representa el ensayo de corte directo a través de un aparato donde se aplica una carga a una muestra de suelo y se mide mediante deformaciones adaptado de (Bowles J. , 1990).

Los esfuerzos producidos se conocen como:

EC - 4 Esfuerzo normal

$$\sigma_n = \frac{P_v}{A} \quad \dots\dots\dots (4)$$

EC - 5 Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{P_h}{A} \quad \dots\dots\dots 5)$$

Donde:

A = valor nominal del área de espécimen del suelo

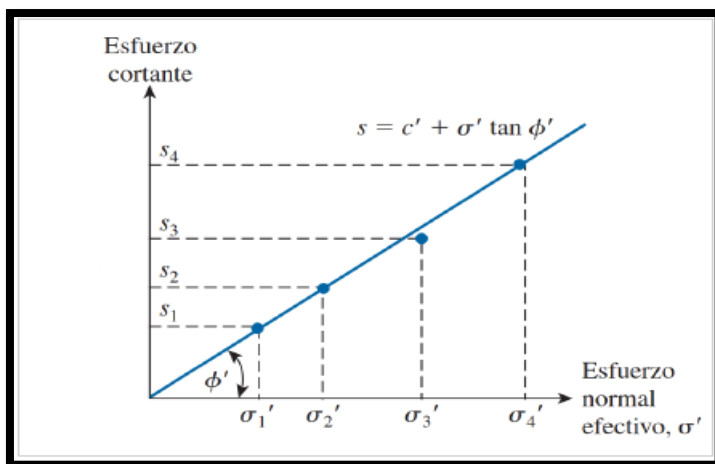
EC - 6 Esfuerzo cortante por el método de Coulomb

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad \dots\dots\dots (6)$$

La ecuación 6 nos indica que los valores (c y ϕ) son valores desconocidos, para determinar los valores se requieren dos datos esenciales de esfuerzo normal y cortante. Los granos gruesos tienen un ángulo de fricción interna por medio de una gráfica se traza una tangente.

Figura 7

Esfuerzo cortante versus Esfuerzo normal



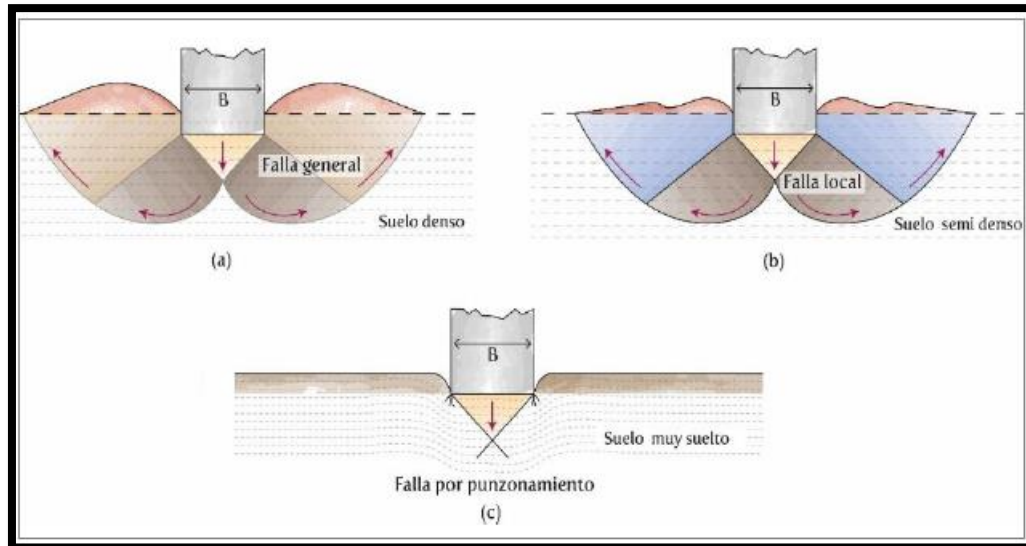
Nota. Se representa el esfuerzo cortante versus el esfuerzo normal donde a través de varios datos se traza graficas tangentes en el punto en común adaptado de (Braja, 2011).

Capacidad de carga en un suelo. Según la estructura y su hondura de desplante de la cimentación nos da un parámetro para una cimentación superficial o profunda.

Capacidad de carga en cimentaciones superficiales. La carga que transmite una edificación al suelo puede causar una falla por resistencia al corte donde este es la última capacidad de carga, se aplica dos factores de 1 a 3 donde nos da como resultado la carga por área de la cimentación. Es fundamental que una cimentación superficial garantizar la seguridad ante una falla al corte donde este se reposa si embargo es aceptar los rangos de asentamientos permisibles para prevenir todo tipo de peligros. (Braja, 2011)

Figura 8

Tipos de fallas en las cimentaciones



Nota. Se presenta las diferentes fallas que se generan en cimentaciones la más común la falla general, también la falla en un suelo semidenso y la falla por punzonamiento en un suelo muy suelto adaptado de (Braja, 2011).

Capacidad de carga según Terzaghi. Sugiere formulas con el fin de alcanzar los valores de una falla por corte en una cimentación:

EC - 7 Capacidad portante en un cimiento cuadrado

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \dots \dots \dots (7)$$

EC - 8 Capacidad portante en un cimiento corrido

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

c = cohesión del suelo

γ = peso unitario del suelo

q = esfuerzo efectivo al fondo de cimentación

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga adimensionales en

en función del ángulo de fricción del suelo ϕ

En situaciones donde una cimentación se repose en un suelo arcilloso o arenoso la compactación debe ser media, Terzaghi nos indica las siguientes ecuaciones:

EC - 9 Capacidad portante de un cimiento corrido

$$q_u = \frac{2}{3} c' N_c' + q N_q' + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma' \quad \dots\dots\dots(9)$$

EC - 10 Capacidad portante en un cimiento cuadrado

$$q_u = 0.867 c' N_c' + q N_q' + 0.4 \gamma B N_\gamma' \quad \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

c = cohesión del suelo

γ = peso unitario del suelo

q = esfuerzo efectivo al fondo de cimentación

N_c', N_q', N_γ' = factores de capacidad de carga modificada

reemplazando ϕ por $\phi' = \tanh^{-1} \left(\frac{2}{3} \tan \phi \right)$

Todas las fórmulas se basan en B que es el ancho de la zapata y finalmente se aplica un factor de seguridad que varía de uno a tres, así como, prevalece la relevancia de la estructura al momento de calcular.

“Las ecuaciones de capacidad de carga de Terzaghi se modificaron según (Braja, 2011) donde los efectos se toman en cuenta en función de la cimentación (B/L), la profundidad de empotramiento (D_f) e inclinación de carga.”(p. 159).

La capacidad de carga y su ecuación general. La ecuación general según investigaciones de autores de renombre como Vesic, Meyerhof y Hansen es:

EC - 11 Capacidad de carga

$$q_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qcN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i} \dots \dots \dots (11)$$

Donde:

c= cohesión del suelo

y= peso unitario del suelo

q= esfuerzo efectivo al fondo de cimentación

$N_c N_q N_\gamma$ = factores de capacidad de carga

$F_{cs} F_{qs} F_{\gamma s}$ = factores de forma

$F_{cd} F_{qd} F_{\gamma d}$ = factores de profundidad

$F_{ci} F_{qi} F_{\gamma i}$ = factores de inclinación

Factores de capacidad de carga:

EC - 12 Factor de carga

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) e^{\pi \tan \phi'} \dots \dots \dots (12)$$

EC - 13 Factor de carga

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi' \dots \dots \dots (13)$$

EC - 14 Factor de carga

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi' \dots \dots \dots (14)$$

Tabla 3

Factores de capacidad de carga

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1	0	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.2	14.47
2	5.63	1.2	0.15	28	25.8	14.72	15.09
3	5.9	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.4	22.4
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	24.24
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.29
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.29	34.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.98	48.01
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31

11	8.8	2.71	1.44	37	55.23	42.25	61.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	71.17
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	64.2	61.2	102.77
15	10.98	3.94	2.65	41	73.9	63.25	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	69.92	156.55
17	12.34	4.77	3.49	43	105.11	76.78	190.09
18	13.1	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.8	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.4	5.39	46	152.1	151.71	319.16
21	15.82	7.07	6.2	47	173.64	187.41	403.65
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	471.79
23	18.05	8.66	8.2	49	226.5	267.51	588.14
24	19.32	9.6	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

Nota. Se presenta los factores de capacidad de carga para la ecuación de Meyerhof es tomado del libro de (Braja, 2011, p. 144)

Factores por forma:

EC - 15 Fcs

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right) \dots \dots \dots (15)$$

EC - 16 Fqs

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right) \dots \dots \dots (16)$$

EC - 17 F_{ys}

$$F_{ys} = 1 + 0.4 \left(\frac{B}{L} \right) \dots \dots \dots (17)$$

Factores de profundidad:

Si; $\frac{D_f}{B} \leq 1 \dots$ (caso I)

EC - 18 Factores de profundidad para $= 0$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \left(\frac{D_f}{B} \right) \dots \dots \dots (18)$$

$$F_{qd} = 1$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

EC - 19 Factores de profundidad para > 0

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi} \dots \dots \dots (19)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Si; $\frac{D_f}{B} > 1 \dots$ (caso II)

EC - 20 Factores de profundidad para el caso II

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right) \dots \dots \dots (20)$$

$$F_{qd} = 1$$

EC - 21 Factores de profundidad caso II > 0

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi} \dots \dots \dots (21)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi \left(1 - \tan \phi \right)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Factores de inclinación:

EC - 22 Factores de inclinación

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^{\circ}}{90^{\circ}} \right)^2 \dots\dots\dots(22)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi} \right)$$

Donde:

B = Inclinación de la carga que reposa en la cimentación con respecto a su eje vertical.

Capacidad de carga según (E.050, 2018). Se emplea la ecuación de la norma técnica peruana para factores de carga así como, forma de la inclinación de carga con respecto a fórmulas ya mencionadas anteriormente.

EC - 23 Capacidad portante

$$q_u = S_c i_c N_c c + i_q \gamma_1 D_f N_q + 0.5 s_{\gamma} i_{\gamma} \gamma_2 B' N_{\gamma} \dots\dots\dots(23)$$

Factores de carga:

EC - 24 Factores de carga

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_{\gamma} = (N_q - 1) \tan(1.4 \phi) \dots\dots\dots(24)$$

Factores de forma:

EC - 25 Factor de forma

$$s_c = 1 + 0.2 \left(\frac{B}{L} \right)$$

$$s_\gamma = 1 - 0.2 \left(\frac{B}{L} \right) \dots \dots \dots (25)$$

Factores de inclinación:

EC - 26 Factores de inclinación

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^{\circ}}{90^{\circ}} \right)^2$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi} \right) \dots \dots \dots (26)$$

3.2.2. Adición de cemento portland tipo I para la estabilización de suelos expandibles

Para afianzar un suelo actualmente se usa agentes químicos que modifican las condiciones físicas y mecánicas en un laboratorio donde se altera la muestra de suelo natural con una modificada con contenido de cemento portland tipo I. Es un método que optimiza las propiedades mecánicas, así como la durabilidad mucho mejor.

“El cemento altera las propiedades del suelo por ende mejora a incrementar la resistencia del suelo y a medida del tiempo aumenta su resistencia, así como el curado” (Braja, 2011, p. 814). Por ende la modificación del suelo con la incorporación del cemento portland tipo I incrementa la capacidad portante y disminuye la permeabilidad hidráulica.

Las proporciones de cemento que se adiciona según antecedentes varia de un 8% a un 20%, que por medio de la prueba de la compactación se alcanza a determinar la cantidad de agua máxima para alcanzar la mayor densidad de compactación en un suelo.

3.3 Definición de términos

- **Cimentación**

“La cimentación está compuesta por varios elementos que transmiten la carga de la estructura al terreno o suelo de fundación de una manera distribuida sin alterar su máxima presión admisible” (Braja, 2011, p. 56).

- **Suelo**

“El suelo se origina por la fragmentación física o química con excepción de un suelo orgánico donde este último su origen proviene de la descomposición de organismos vivos” (Huanca, 1996, p. 151).

- **Suelo arcilloso**

“Su estructura está compuesta por gran cantidad de arcilla, barro y arena en pequeñas cantidades con respecto a la arcilla. Se conoce como un suelo expansivo a la arcilla que debido a sus pocos espacios retiene agua y esto trae consigo que aumente su volumen, así como no sea rígido” (Braja, 2011, p. 101).

- **Capacidad portante**

“Se expresa como la máxima densidad media que está en contacto entre la cimentación que reposa sobre el terreno, sin embargo, esto depende que no altere una fuerza cortante o un desplazamiento vertical” (Braja, 2011, p. 133).

- **Puzolana**

“Es considerado como reactivo a la acción del ingrediente bituminoso como el asfalto. Los más comunes son las cenizas volantes y el cemento portland” (Atienza, 2008, p. 65).

- **Cemento**

“Es un conglomerante que se compone de mezcla caliza y arcilla calcinada que son sometidos a procesos mecánicos donde su principal característica es de petrificar al estar con contacto con el agua. El Clinker se tritura que proviene de las rocas que al estar en contacto con el yeso se convierte en cemento donde el propósito es que su fragua no se encoja al estar en un estado duro” (Pasquel, 1998, p.23)

- **Estabilización de suelos con cemento**

“Es la modificación de un suelo natural con la adición de cemento que también pueden ser utilizados como agua o también otros aditivos. Son complementados con una buena compactación y un curado adecuado para alcanzar un suelo con condiciones favorables” (Huanca, 1996, p. 91).

- **Subrasante**

“Es parte de la estructura de un suelo su cualidad principal es de resistir cargas generadas por una carga externa a este” (Huanca, 1996, p. 142).

- **Máxima densidad seca**

Se entiende como una masa alcanza su máximo volumen al ser compactado donde su volumen inicial disminuye donde su humedad debe ser optima. (MTC, Glosario de terminos, 2018)

- **Limite liquido**

Es un estado del suelo en una etapa líquida que también se puede entender en un estado plástico. (MTC, Glosario de terminos, 2018)

- **Límite plástico**

Es cuando el suelo se satura con agua o también es cuando se encuentra en un estado semi sólido. (MTC, Glosario de terminos, 2018)

- **Índice de plasticidad**

Se entiende como la resta del estado inicial líquido con el estado plástico en un suelo sin alteraciones. (MTC, Glosario de terminos, 2018)

- **Prueba de corte directo**

“Es una prueba que determina la resistencia al suelo en condiciones favorables donde se establece en un plano donde actúan dos cargas al eje para una muestra de suelo” (Huanca, 1996, p. 156).

- **Cohesión del suelo**

“Es una propiedad del suelo que une las partículas, esto se genera a partir de unas fuerzas internas que dependen que las partículas estén en contacto con sus partículas vecinas” (Huanca, 1996, p. 156).

- **Ángulo de fricción interna**

“Es conocido como rozamiento interno cuya característica de un suelo granular, este mantiene relación con el ángulo de reposo inicial y depende que las partículas estén en fricción entre ellas” (Braja, 2011, p. 235).

IV: Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

- Tipo de investigación aplicada

“Indica que una investigación es de tipo aplicada por su práctica dinámica activa para amplificar los conocimientos ya existentes donde se pretende aplicar de manera directa o solo es amplificar teorías existentes” (Behar, 2008, p.87).

- Nivel de la investigación explicativo

“Una investigación es explicativa donde su explicación es a base de criterios donde su fin es identificar causas y eventos que están relacionados con el fenómeno a estudiar, se basa en sustentar la correlación a través de interrogantes o más constantes” Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, p. 110).

4.2. Ámbito temporal y espacial

- Temporal

La tesis se ejecutó en un rango de 2 años desde haber sido aprobado el proyecto de tesis.

- Espacial

La tesis se realizó en la ciudad de Abancay, exactamente en el sector de Molinopata para precisar son las cimentaciones de viviendas unifamiliares.

4.3. Población y muestra

- Población

“Se entiende como el conjunto de todas las muestras que se caracterizan por ser casi iguales de un objeto de estudio. Para alcanzar los resultados de la investigación es vital considerar la población de muestras” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, p. 111).

La población es el suelo de las cimentaciones de viviendas unifamiliares de la zona de Molinopata que está ubicada en la ciudad de Abancay.

- **Muestra**

“Una parte de la población es un subconjunto que es parte de un grupo. Si no pertenecen a un grupo sus distintos propósitos no son considerados como muestras” (Behar, 2008, p. 41).

La muestra se trabajó como un método no probabilístico o también conocido como muestra por conveniencia, de acuerdo a la norma E.050 de suelos y cimentaciones donde considera tres puntos de exploración por cada 10 mil m² de habilitación urbana con fines de viviendas unifamiliares de hasta 3 pisos, se situó 6 puntos de exploración donde en cada sitio se hizo una calicata.

Muestra bajo los estándares realizados son:

- Precisión mínima: 1
- Precisión máxima: 1.5
- Por conveniencia: 1 calicata a una profundidad de 1.50 m.

4.4. Instrumentos

“El instrumento cumple la función de ayudar para responder sus objetivos. Su función principal es de recopilar los datos para responder interrogantes donde se utiliza como fichas de recolección” (Carrasco, 2006, p. 21).

El manual de prueba de materiales ya tiene instrumentos para recopilar datos que están estandarizados de normas nacionales e internacionales.

Tabla 4

Ensayos realizados bajo las siguientes normas

Descripción	Norma
Método para la clasificación de suelos	ASTM D 2487
Análisis granulométrico	ASTM D 422
Límites de Atterberg	ASTM D 4318
Prueba de corte directo	ASTM D 3018
Consolidación	ASTM D 2435

Nota. Se presenta en la tabla los ensayos realizados para alcanzar los resultados deseados con el fin de responder las interrogantes en esta tesis.

4.5. Procedimientos

Procedimiento técnico

El continuo uso de modelos científicos es vital para analizar, recolectar y procesar datos de tesis de forma automática. Como primer lugar se realizó una recolección de datos en la zona de Molinopata donde se realizó una inspección visual e in situ se realizó una calicata para analizar a través de laboratorio la incorporación de cemento portland a una muestra de suelo natural extraída con las pruebas de laboratorio de corte directo y consolidación para poder estabilizar un suelo que sobre este está construido una cimentación superficial.

Procedimiento estadístico

El procedimiento estadístico a optar para corroborar si el estudio es fidedigno es aplicar el análisis de varianza ANOVA que es complementado con el TUKEY para más de dos muestras independientes donde se considera las medias de distribuciones, la media aritmética, la moda, la varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el nivel inferior, así como superior para una confiabilidad de la tesis a un 95% con un error ya conocido del 5%.

4.6. Análisis de datos

ANOVA. El análisis de datos de cada objetivo específico ha sido analizado con el análisis de varianza comúnmente conocido como ANOVA donde este al añadir más de 2 muestras independientes de 5%, 10%, 15% de cemento portland a una muestra natural de suelo sin alteraciones se evidencio si existe una variación de resistencia al corte, así como de consolidación de un suelo sin alterar sus propiedades mecánicas, químicas y físicas.

TUKEY. Para un mejor entendimiento de cada muestra independiente y para saber exactamente si habido variación en comparaciones de una muestra de suelo con una modificada se realizó TUKEY donde con cada análisis de datos se comprueba donde un nivel de significancia menor a 0.05 existe variaciones considerables con esto nos indica que si existe un incremento en una muestra de suelo natural por ende es un aporte a la rama de suelos y cimentaciones para posteriores estudios.

4.7. Consideraciones éticas

Sus principios deontológicos son respetados en esta tesis desde los puntos del deber, normas y valores para cumplir con la ética con el fin de demostrar los objetivos específicos planteados.

La tesis en mención favorece la continua investigación e incrementa la sabiduría metodológica que esto trae consigo un aprecio natural e individual que abre nuevos conocimientos a investigadores en un futuro cumpliendo el respeto y la autenticidad de cada investigación.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Resistencia al corte con respecto a la cohesión del suelo expandible mediante el ensayo de corte directo

a) Toma de muestras

La zona de estudio es en Molinopata que está ubicado en la provincia de Abancay, región de Apurímac.

Figura 9

Zona de estudio Molinopata



Nota. Se presenta en la figura la zona de estudio para esta tesis que está ubicado exactamente en el sector de Molinopata.

b) Ubicación de muestras

La toma de muestras se precisaron exactamente 6 calicatas donde solo uno por conveniencia se analizó para esta tesis.

Figura 10

Ubicación de calicatas



Nota. Se visualiza las 6 calicatas a inspección insitu donde solo una se ha extraído las muestras para hacer el análisis para esta tesis, para ser precisos la calicata se encuentra a espaldas del colegio Carmelo.

c) Extracción de muestras

La extracción de muestras se realizó con una retroexcavadora con fines de agilizar el trabajo, el material extraído comprendió alrededor de 40 kilos que estos fueron llevados a la ciudad de Cusco para un mejor análisis.

Figura 11

Extracción de muestras



Nota. Se presenta la estratificación de una calicata extraída a una altura aproximadamente de 2 metros para la obtención de las muestras obtenidas donde se metieron a un saco y se llevaron a Cusco para un mejor análisis.

- Cemento portland tipo I

El cemento portland tipo I (CP) es conocido como un conglomerante que, al ser combinado con áridos, agua y fibras tiende a obtener una propiedad pétreo resistente y duradera.

Tabla 5

Propiedades químicas

Propiedades	Und	Cantidad	Requisitos
CA	%	7	<12
EA	%	0.09	<0.80
SE	m ² /kg	3.23	>260
D	g/cm ³	3.13	No especifica
MgO	%	2.9	<6

SO ₃	%	2.8	<3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	<3.5
Residuo insoluble	%	0.9	<1.5
C2S	%	12	No especifica
C3S	%	55	No especifica
C3A	%	10	No especifica
C4AF	%	10	No especifica

Nota. Se presenta las propiedades físicas y químicas del cemento utilizado para los ensayos respectivos en esta tesis.

- Análisis granulométrico de las muestras extraídas

Tabla 6

Resultados de la cribación

Muestra	Numero de calicata (N°)	Profundidad (m)	% retenido en cada criba							
			N°2	N° 3/4	N° 3/8	N° 4	N° 50	N°100	N°200	Cazuela
1	C-1	1.90	0.0	3.50	6.92	6.16	2.40	5.32	3.36	21.36
2	C-2	2.00	0.0	0.00	1.80	3.04	4.96	7.76	2.48	34.56
3	C-3	3.00	0.00	3.50	6.92	6.16	2.40	5.32	3.36	21.36
4	C-4	3.00	0.00	6.32	6.56	4.40	3.32	4.36	1.24	8.32
5	C-5	2.40	0.00	1.22	3.08	3.88	4.00	6.27	2.31	21.73
6	C-6	2.10	0.00	8.05	7.16	7.64	1.92	3.64	1.56	8.64

Nota. Se presenta los resultados del análisis granulométrico de cada calicata extraída estos datos son tomados del reporte de laboratorio.

- Contenido de humedad

Tabla 7*Resultados de contenido de humedad*

Muestras	Número de calicata N°	Profundidad (m)	H%
1	C-1	1.90	11.32
2	C-2	2.00	18.47
3	C-3	3.00	11.32
4	C-4	3.00	9.95
5	C-5	2.4	14.62
6	C-6	2.10	6.4

Nota. Se presenta los resultados de laboratorio para el ensayo de contenido de humedad de las distintas calicatas extraídas.

Según la clasificación SUCS la muestra analizada presenta un tipo de suelo de arcilla de baja plasticidad (CL) véase la siguiente tabla:

Tabla 8*Clasificación de la muestra de suelo por el método SUCS*

Muestra	Clasificación	
	SUCS	AAHSTO
M	CL	-

Nota. Se presenta la clasificación para una muestra de suelo donde nos indica que es una arcilla de baja plasticidad.

- Índice de plasticidad

Tabla 9*Índice de plasticidad*

Muestra	Nº	LL	LP	IP
1	C-1	22.78	17.93	4.87
2	C-2	34.24	22.63	11.61
3	C-3	25.16	18.65	6.51
4	C-4	19.7	18.65	1.05
5	C-5	33.41	25.08	8.33
6	C-6	17.81	16.66	1.15

Nota. Se presenta el LL, LP e IP para las distintas muestras extraídas para verificar que tan plástico es el suelo en el lugar de estudio de Molinopata.

Metodología para muestras de suelo natural modificadas adicionando cemento portland tipo I para la resistencia al corte con respecto a la cohesión

a) Muestra natural con 0% de cemento

Tabla 10

Esfuerzo cortante para una muestra de suelo sin adición de cemento

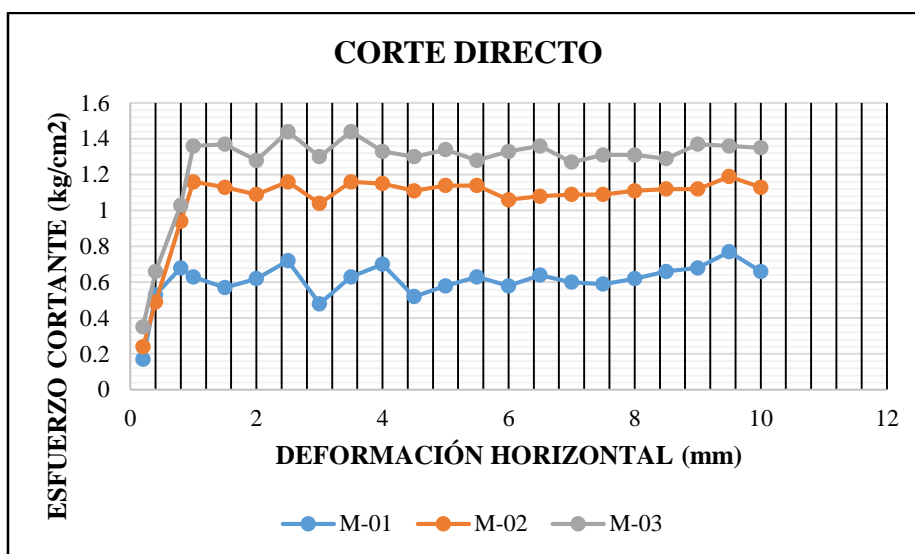
Longitud de corte	Esfuerzo cortante		
	M-01	M-02	M-03
mm	kg/cm ²		
0.2	0.17	0.24	0.35
0.4	0.53	0.49	0.66
0.6	0.68	0.94	1.03
0.8	0.63	1.16	1.36
1	0.57	1.13	1.37
1.5	0.62	1.09	1.28
2.0	0.72	1.16	1.44

2.5	0.48	1.04	1.3
3.0	0.63	1.16	1.44
3.5	0.7	1.15	1.33
4.0	0.52	1.11	1.3
4.5	0.58	1.14	1.34
5.0	0.63	1.14	1.28
5.5	0.58	1.06	1.33
6.0	0.64	1.08	1.36
6.5	0.6	1.09	1.27
7.0	0.59	1.09	1.31
7.5	0.62	1.11	1.31
8.0	0.66	1.12	1.29
8.5	0.68	1.12	1.37
9.0	0.77	1.19	1.36
9.5	0.66	1.13	1.35
10.0	0.17	0.24	0.35

Nota. Se presenta los resultados de la longitud de corte con respecto al esfuerzo cortante de tres muestras de suelo.

Figura 12

Corte directo para una muestra de suelo natural



Nota. Se presenta el esfuerzo cortante para tres muestras de suelo en una muestra de suelo sin adición de cemento portland donde la deformación horizontal es dispersa.

b) Muestra natural + 5% de cemento

Tabla 11

Esfuerzo cortante para una muestra de suelo con adición del 5%

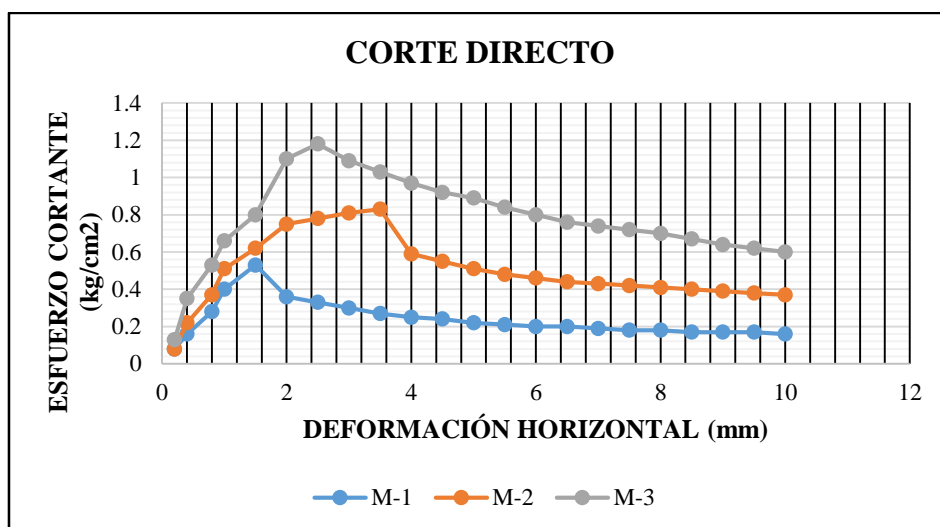
Longitud de corte	Esfuerzo cortante		
	M-01	M-02	M-03
mm	kg/cm ²		
0.2	0.08	0.08	0.13
0.4	0.16	0.22	0.35
0.6	0.28	0.37	0.53
0.8	0.40	0.51	0.66
1	0.53	0.62	0.80
1.5	0.36	0.75	1.1
2.0	0.33	0.78	1.18
2.5	0.30	0.81	1.09

3.0	0.27	0.83	1.03
3.5	0.25	0.59	0.97
4.0	0.24	0.55	0.92
4.5	0.22	0.51	0.89
5.0	0.21	0.48	0.84
5.5	0.20	0.46	0.80
6.0	0.20	0.44	0.76
6.5	0.19	0.43	0.74
7.0	0.18	0.42	0.72
7.5	0.18	0.41	0.70
8.0	0.17	0.40	0.67
8.5	0.17	0.39	0.64
9.0	0.17	0.38	0.62
9.5	0.16	0.37	0.60
10.0	0.16	0.36	0.58

Nota. Se presenta los resultados de la longitud de corte con respecto al esfuerzo cortante de tres muestras de suelo para una adición de 5% de cemento.

Figura 13

Corte directo para una muestra de suelo con 5% de adición



Nota. Se presenta el esfuerzo cortante para tres muestras de suelo en una muestra de suelo con adición de cemento portland al 5% donde la deformación horizontal es dispersa.

c) Muestra natural + 10% de cemento

Tabla 12

Esfuerzo cortante para una muestra de suelo con adición del 10%

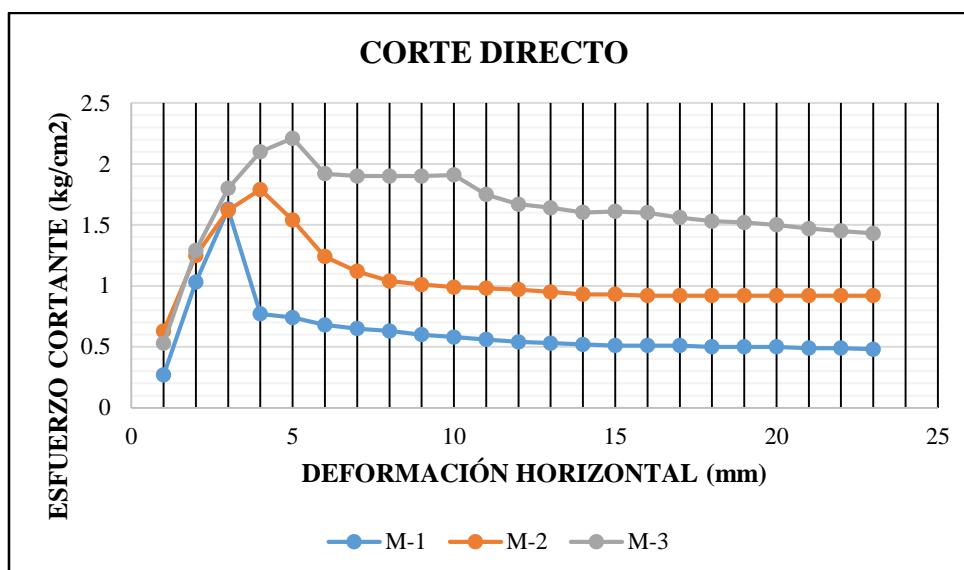
Longitud de corte	Esfuerzo cortante		
	M-01	M-02	M-03
mm	kg/cm ²		
0.2	0.27	0.63	0.53
0.4	1.03	1.25	1.29
0.6	1.63	1.62	1.8
0.8	0.77	1.79	2.1
1	0.74	1.54	2.21
1.5	0.68	1.24	1.92

2.0	0.65	1.12	1.9
2.5	0.63	1.04	1.9
3.0	0.60	1.01	1.9
3.5	0.58	0.99	1.91
4.0	0.56	0.98	1.75
4.5	0.54	0.97	1.67
5.0	0.53	0.95	1.64
5.5	0.52	0.93	1.602
6.0	0.51	0.93	1.61
6.5	0.51	0.92	1.6
7.0	0.51	0.92	1.56
7.5	0.50	0.92	1.53
8.0	0.50	0.92	1.52
8.5	0.50	0.92	1.5
9.0	0.49	0.92	1.47
9.5	0.49	0.92	1.45
10.0	0.48	0.92	1.43

Nota. Se presenta los resultados de la longitud de corte con respecto al esfuerzo cortante de tres muestras de suelo para una adición de 10% de cemento.

Figura 14

Corte directo para una muestra de suelo con 10% de adición



Nota. Se presenta el esfuerzo cortante para tres muestras de suelo en una muestra de suelo con adición de cemento portland al 10% donde la deformación horizontal es dispersa.

d) Muestra natural + 15% de cemento

Tabla 13

Esfuerzo cortante para una muestra de suelo con adición del 15%

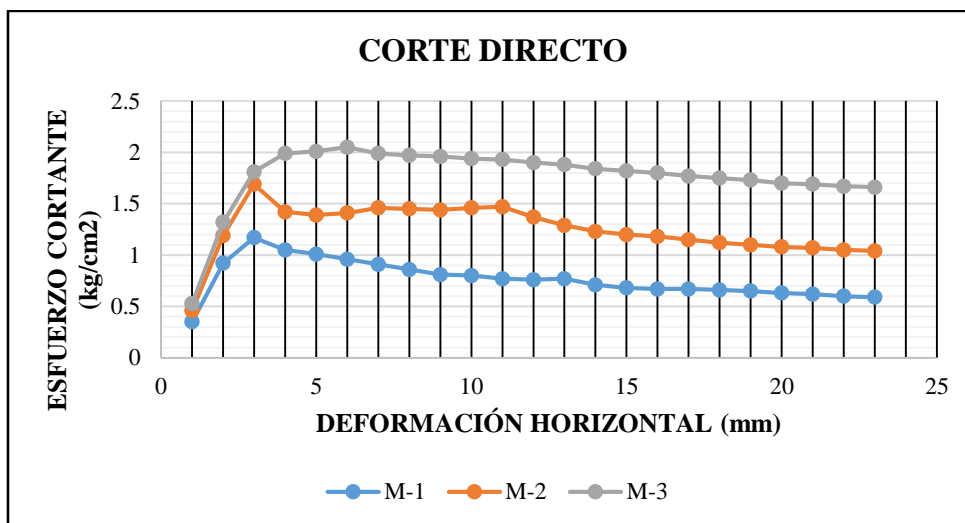
Longitud de corte	Esfuerzo cortante		
	M-01	M-02	M-03
mm	kg/cm ²		
0.2	0.35	0.46	0.53
0.4	0.92	1.19	1.32
0.6	1.17	1.69	1.81
0.8	1.05	1.42	1.99
1	1.01	1.39	2.01
1.5	0.96	1.41	2.05

2.0	0.91	1.46	1.99
2.5	0.86	1.45	1.97
3.0	0.81	1.44	1.96
3.5	0.80	1.46	1.94
4.0	0.77	1.47	1.93
4.5	0.76	1.37	1.9
5.0	0.77	1.29	1.88
5.5	0.71	1.23	1.84
6.0	0.68	1.2	1.82
6.5	0.67	1.18	1.8
7.0	0.67	1.15	1.77
7.5	0.66	1.12	1.75
8.0	0.65	1.1	1.73
8.5	0.63	1.08	1.7
9.0	0.62	1.07	1.69
9.5	0.6	1.05	1.67
10.0	0.59	1.04	1.66

Nota. Se presenta los resultados de la longitud de corte con respecto al esfuerzo cortante de tres muestras de suelo para una adición de 15% de cemento.

Figura 15

Corte directo para una muestra de suelo con 15% de adición



Nota. Se presenta el esfuerzo cortante para tres muestras de suelo en una muestra de

suelo con adición de cemento portland al 15% donde la deformación horizontal es dispersa.

Resumen de resultados

Tabla 14

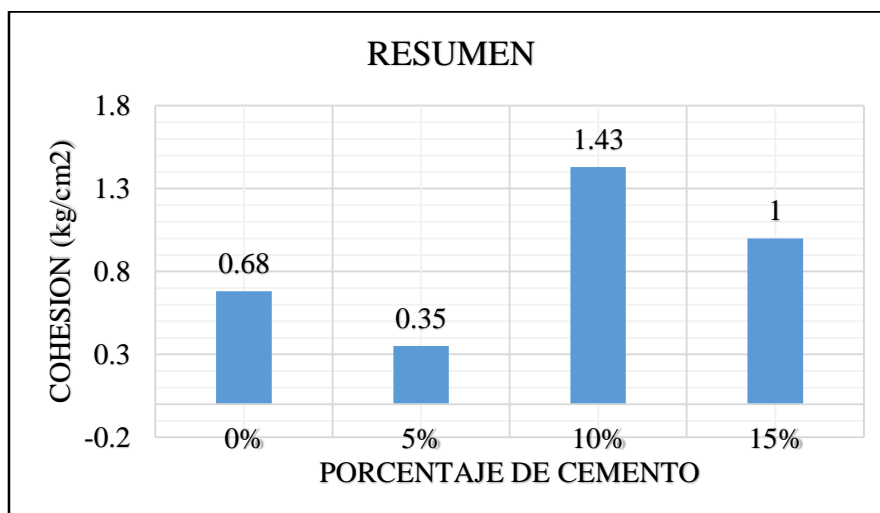
Parámetros de resistencia

Parámetros de resistencia		
Muestra	Cemento	Cohesión (kg/cm ²)
M-01	5%	0.35
M-02	10%	1.43
M-03	15%	1.0
M-04	Muestra patrón	0.68

Nota. Se presenta el resumen de resultados donde la tendencia es que los datos son dispersos que aun 5% disminuye con respecto a la muestra patrón sin embargo a un 15% disminuye con respecto a una adición del 10%.

Figura 16

Resumen de resultados de la cohesión



Nota. Se presenta el resumen de resultados donde la tendencia es que los datos son dispersos que aun 5% disminuye con respecto a la muestra patrón sin embargo a un 15% disminuye con respecto a una adición del 10%.

5.1.2. Resistencia al corte con respecto al ángulo de fricción del suelo expandible mediante el ensayo de corte directo

El ángulo de fricción está vinculado con la resistencia al corte y la cohesión del suelo la cual se menciona en el marco teórico, los resultados correspondientes se muestran a continuación:

a) Muestra natural + 0% de cemento

Tabla 15

Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición del 0% de cemento

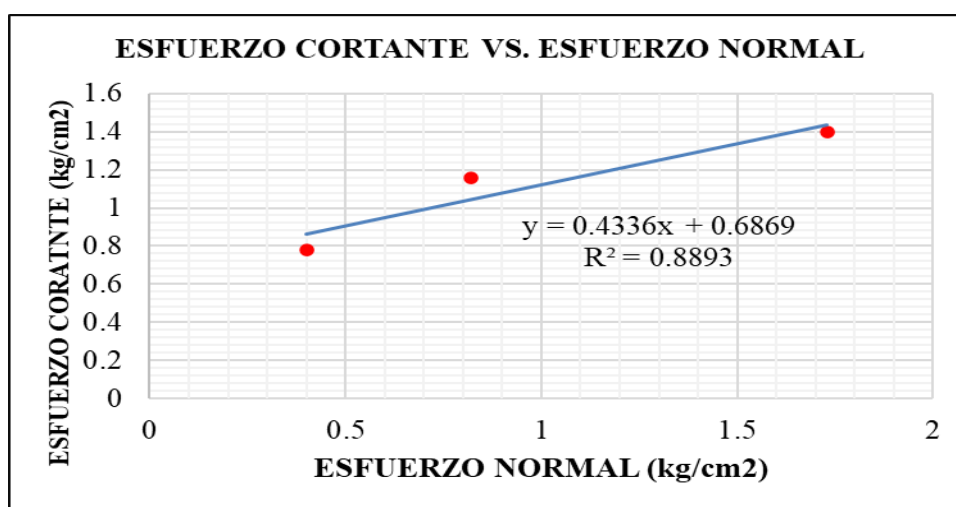
Muestras	M-1	M-2	M-3
Carga vertical (kg)	8.0	16.0	32.0
Área en corte (cm ²)	19.76	19.51	18.49

Esfuerzo normal (kg/cm ²)	0.40	0.82	1.73
Esfuerzo cortante (kg/cm ²)	0.78	1.16	1.40

Nota. Se muestra los datos de esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición de 0% de cemento en una muestra natural.

Figura 17

Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una muestra natural sin adición de cemento



Nota. Se presenta el esfuerzo cortante versus el esfuerzo normal para tres muestras de

suelo en una muestra de suelo sin adición de cemento donde la tendencia es lineal.

b) Muestra natural + 5% de cemento

Tabla 16

Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición del 5% de cemento

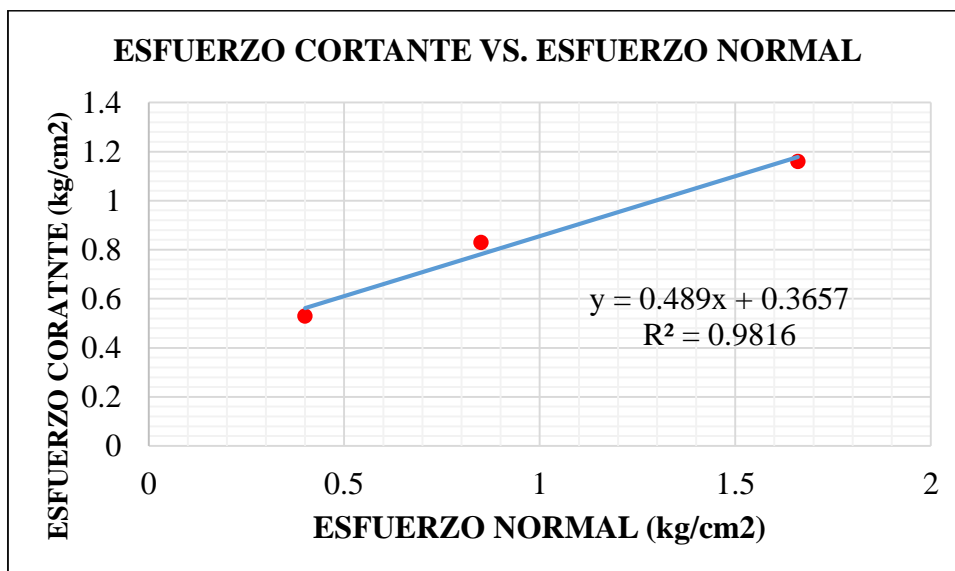
Muestras	M-1	M-2	M-3
Carga vertical (kg)	8.0	16.0	32.0
Área en corte (cm ²)	19.76	19.51	18.49

Esfuerzo normal (kg/cm ²)	0.40	0.85	1.66
Esfuerzo cortante (kg/cm ²)	0.53	0.83	1.16

Nota. Se muestra los datos de esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición de 5% de cemento en una muestra natural.

Figura 18

Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una muestra natural con adición de cemento al 5%



Nota. Se presenta el esfuerzo cortante versus el esfuerzo normal para tres muestras de suelo en una muestra de suelo con adición de cemento al 5% donde la tendencia es lineal.

c) Muestra natural + 10% de cemento

Tabla 17

Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición del 10% de cemento

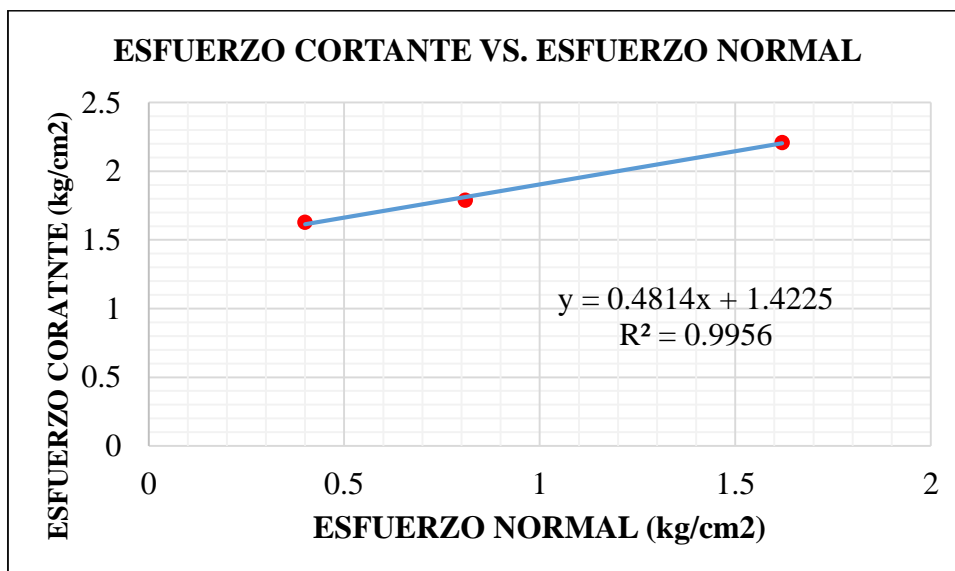
Muestras	M-1	M-2	M-3
Carga vertical (kg)	8.0	16.0	32.0
Área en corte (cm ²)	19.96	19.86	19.76

Esfuerzo normal (kg/cm ²)	0.40	0.81	1.62
Esfuerzo cortante (kg/cm ²)	1.63	1.79	2.21

Nota. Se muestra los datos de esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición de 10% de cemento en una muestra natural.

Figura 19

Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una muestra natural con adición de cemento al 10%



Nota. Se presenta el esfuerzo cortante versus el esfuerzo normal para tres muestras de suelo en una muestra de suelo con adición de cemento al 10% donde la tendencia es lineal.

d) Muestra natural + 15% de cemento

Tabla 18

Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición del 15% de cemento

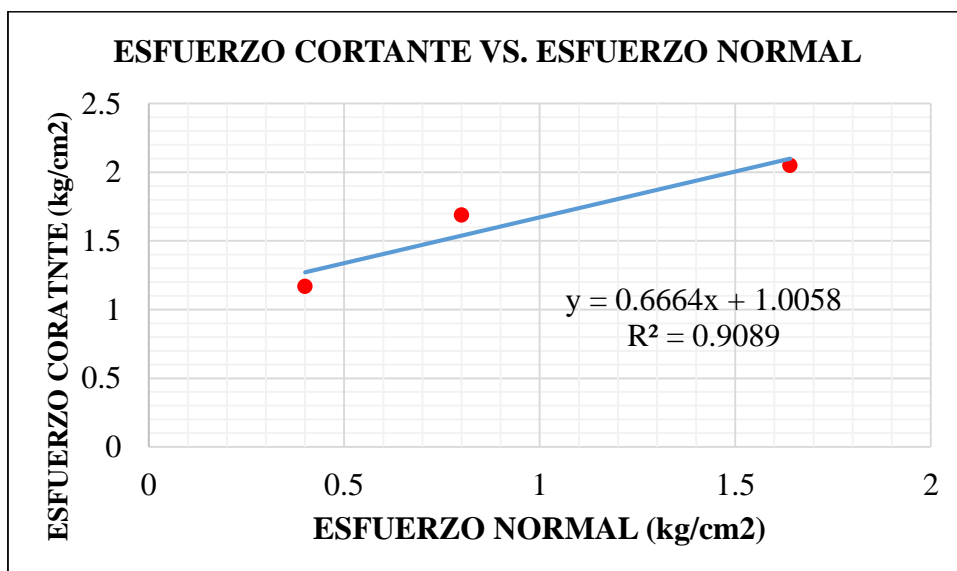
Muestras	M-1	M-2	M-3
Carga vertical (kg)	8.0	16.0	32.0
Área en corte (cm ²)	19.96	19.96	19.51

Esfuerzo normal (kg/cm ²)	0.40	0.80	1.64
Esfuerzo cortante (kg/cm ²)	1.17	1.69	2.05

Nota. Se muestra los datos de esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una adición de 15% de cemento en una muestra natural.

Figura 20

Esfuerzo cortante versus esfuerzo normal para una muestra natural con adición de cemento al 15%



Nota. Se presenta el esfuerzo cortante versus el esfuerzo normal para tres muestras de suelo en una muestra de suelo con adición de cemento al 15% donde la tendencia es lineal.

Resumen de resultados

Tabla 19

Parámetros de resistencia con respecto al ángulo de fricción

Parámetros de resistencia		
Muestra	Cemento	Ángulo de fricción

M-01	5%	26°50'00"
M-02	10%	25°27'51"
M-03	15%	33°34'25"
M-04	Muestra patrón	23°42'33"

Nota. Se presenta el resumen de resultados donde la tendencia es que los datos se incrementan a medida que aumenta la adición de cemento donde en la muestra patrón se tiene 23°42'33" y a un 15% se tiene 33°34'25".

5.1.3. Consolidación del suelo expandible mediante el ensayo edométrico

La consolidación de suelo está vinculada con el asentamiento que se detalla a continuación:

a) Muestra de suelo natural + 0% de cemento

Tabla 20

Proceso de descargas de la curva de compresión

Carga (kg)	Relación de vacíos	Esfuerzo P (kg/cm ²)
0	0.9639	0
1	0.9249	0.49
2	0.906	0.98
4	0.8771	1.97
8	0.8328	3.96
16	0.7813	7.91
32	0.7224	15.79

Nota. Se muestra los datos del proceso de descargas de la curva de compresión de distintas cargas para obtener el esfuerzo que a medida de mayor carga aumenta el esfuerzo.

Tabla 21

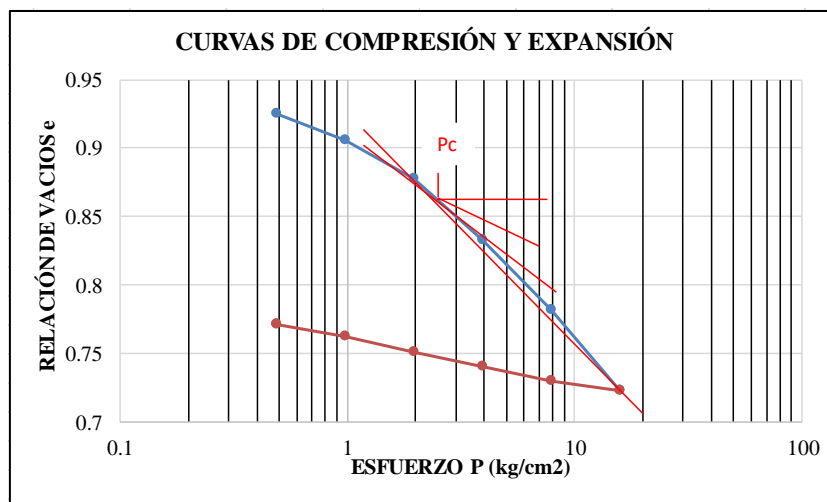
Proceso de descargas de la curva de expansión

Carga (kg)	Relación de vacíos	Esfuerzo P (kg/cm ²)
32	0.7224	0
16	0.7294	0.49
8	0.74	0.98
4	0.751	1.97
2	0.7625	3.96
1	0.7711	7.91
0	0.7857	15.79

Nota. Se muestra los datos del proceso de descargas de la curva de expansión de distintas cargas para obtener el esfuerzo que a medida de mayor carga aumenta el esfuerzo.

Figura 21

Curvas de compresión y expansión para una muestra sin cemento



Nota. Se presenta las curvas de compresión y expansión si adición de cemento donde al trazar las tangentes a las curvas disipa el exceso de presión sobre la transferencia del esfuerzo efectivo.

b) Muestra de suelo + 5% de cemento

Tabla 22

Proceso de descargas de la curva de compresión con 5% de cemento

Carga (kg)	Relación de vacíos	Esfuerzo P (kg/cm²)
0	0.7466	0
1	0.7443	0.49
2	0.7417	0.98
4	0.7371	1.97
8	0.7296	3.96
16	0.7065	7.91
32	0.69	15.79

Nota. Se muestra los datos del proceso de descargas de la curva de compresión de distintas cargas con un 5% de cemento para obtener el esfuerzo que a medida de mayor carga aumenta el esfuerzo.

Tabla 23

Proceso de descargas de la curva de expansión con 5% de cemento

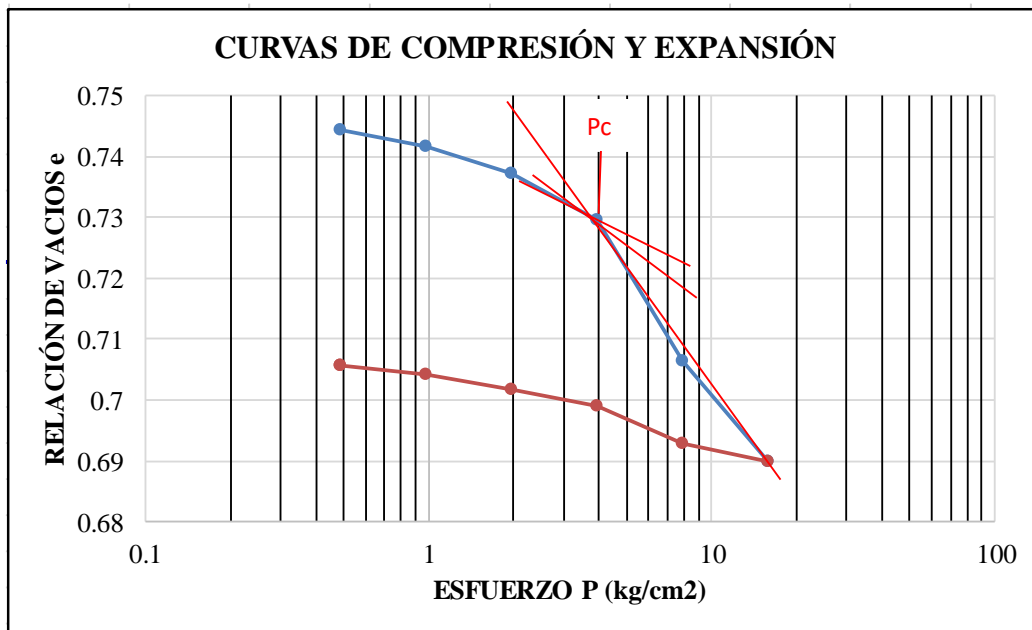
Carga (kg)	Relación de vacíos	Esfuerzo P (kg/cm²)
32	0.69	0
16	0.6929	0.49
8	0.6989	0.98

4	0.7018	1.97
2	0.7042	3.96
1	0.7057	7.91
0	0.7094	15.79

Nota. Se muestra los datos del proceso de descargas de la curva de expansión de distintas cargas con 5% de cemento para obtener el esfuerzo que a medida de mayor carga aumenta el esfuerzo.

Figura 22

Curvas de compresión y expansión para una muestra con cemento de 5%



Nota. Se presenta las curvas de compresión y expansión con adición de cemento al 5% donde al trazar las tangentes a las curvas disipa el exceso de presión sobre la transferencia del esfuerzo efectivo.

c) Muestra de suelo + 10% de cemento

Tabla 24

Proceso de descargas de la curva de compresión con 10% de cemento

Carga (kg)	Relación de vacíos	Esfuerzo P (kg/cm²)
0	0.7732	0
1	0.766	0.49
2	0.7613	0.98
4	0.7556	1.97
8	0.7449	3.96
16	0.7256	7.91
32	0.7148	15.79

Nota. Se muestra los datos del proceso de descargas de la curva de compresión de distintas cargas con un 10% de cemento para obtener el esfuerzo que a medida de mayor carga aumenta el esfuerzo.

Tabla 25

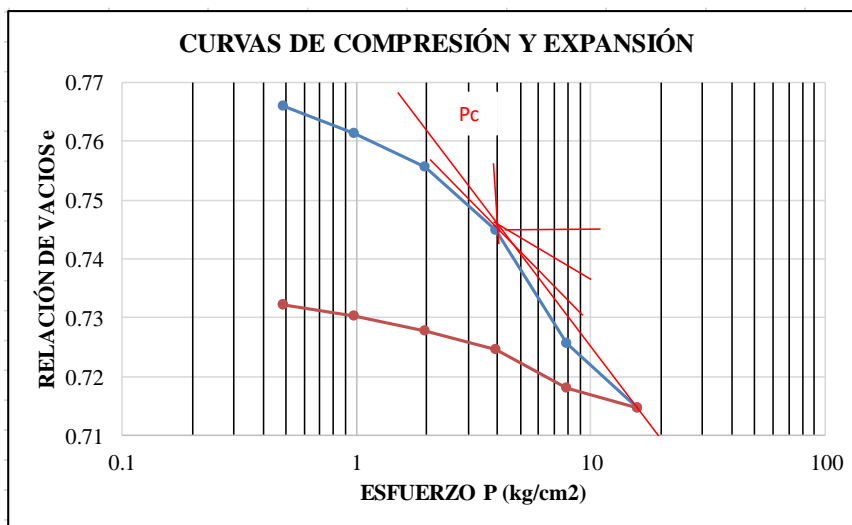
Proceso de descargas de la curva de expansión con 10% de cemento

Carga (kg)	Relación de vacíos	Esfuerzo P (kg/cm²)
32	0.7148	0
16	0.7181	0.49
8	0.7246	0.98
4	0.7278	1.97
2	0.7304	3.96
1	0.7323	7.91
0	0.7367	15.79

Nota. Se muestra los datos del proceso de descargas de la curva de expansión de distintas cargas con 10% de cemento para obtener el esfuerzo que a medida de mayor carga aumenta el esfuerzo.

Figura 23

Curvas de compresión y expansión para una muestra con cemento de 10%



Nota. Se presenta las curvas de compresión y expansión con adición de cemento al 10% donde al trazar las tangentes a las curvas disipa el exceso de presión sobre la transferencia del esfuerzo efectivo.

d) Muestra de suelo + 15% de cemento

Tabla 26

Proceso de descargas de la curva de compresión con 15% de cemento

Carga (kg)	Relación de vacíos	Esfuerzo P (kg/cm ²)
0	0.8043	0
1	0.8007	0.49
2	0.8004	0.98

4	0.7996	1.97
8	0.7968	3.96
16	0.7871	7.91
32	0.7558	15.79

Nota. Se muestra los datos del proceso de descargas de la curva de compresión de distintas cargas con un 15% de cemento para obtener el esfuerzo que a medida de mayor carga aumenta el esfuerzo.

Tabla 27

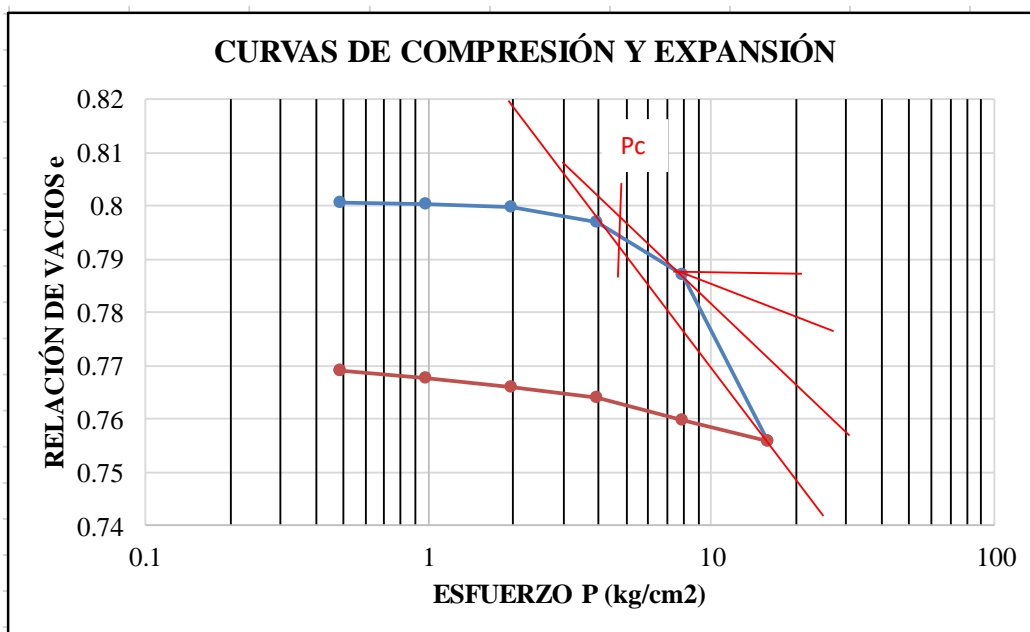
Proceso de descargas de la curva de expansión con 15% de cemento

Carga (kg)	Relación de vacíos	Esfuerzo P (kg/cm²)
32	0.7558	0
16	0.7598	0.49
8	0.7639	0.98
4	0.7659	1.97
2	0.7676	3.96
1	0.769	7.91
0	0.7725	15.79

Nota. Se muestra los datos del proceso de descargas de la curva de expansión de distintas cargas con 15% de cemento para obtener el esfuerzo que a medida de mayor carga aumenta el esfuerzo.

Figura 24

Curvas de compresión y expansión para una muestra con cemento de 15%



Nota. Se presenta las curvas de compresión y expansión con adición de cemento al 15% donde al trazar las tangentes a las curvas disipa el exceso de presión sobre la transferencia del esfuerzo efectivo.

Resumen de resultados

Los resultados de coeficientes de compresibilidad, expansión y presión de pre consolidación:

Tabla 28

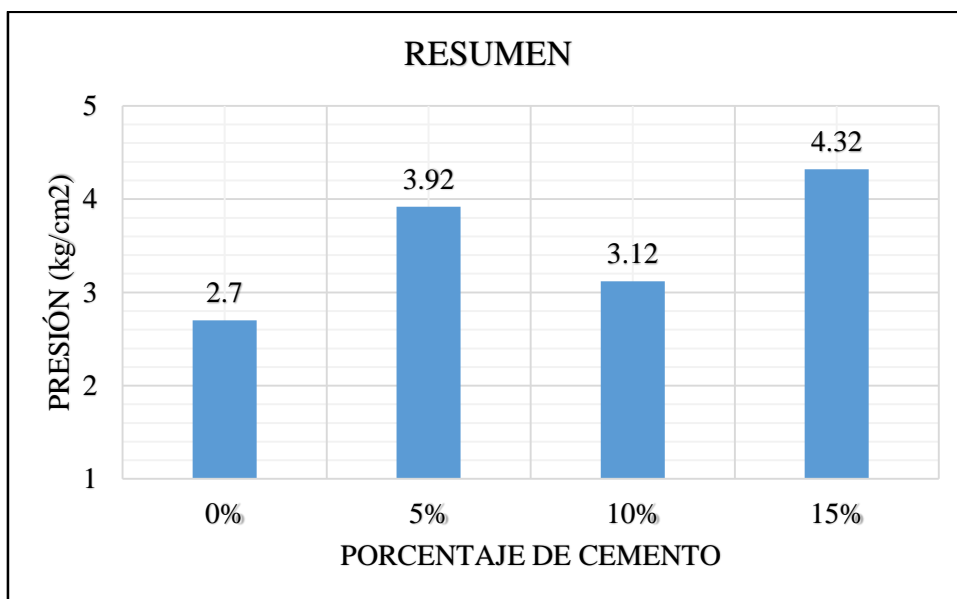
Parámetros edométricos

Parámetros edométricos				
Muestra	Cemento	Coeficiente de compresibilidad "C _c "	Coeficiente de expansión "C _s "	Presión de pre-consolidación P _c (kg/cm ²)
M-1	5%	0.066	0.0104	3.92
M-2	10%	0.0502	0.0116	3.12
M-3	15%	0.0683	0.0088	4.32
M-4	Muestra patrón	0.1838	0.0324	2.7

Nota. Se presenta en resumen de resultados donde la tendencia es que a mayor adición aumenta la presión donde a un 5% se tiene 3.92 kg/cm^2 en comparación a 0% de adición de cemento.

Figura 25

Presión versus cemento



Nota. Se presenta el resumen de resultados donde en comparación de la muestra patrón la tendencia aumenta para un 5% y 15% de adición en comparación a una muestra sin adición.

- **Prueba de hipótesis**
- **Contrastación de hipótesis**

Hipótesis general

El cemento portland tipo I influye en las propiedades físicas mecánicas de suelos expandibles para la cimentación de viviendas unifamiliares en el sector de Molinopata - Abancay, 2022.

Hipótesis específicas

a. Hipótesis específica 01

H₀: El cemento portland tipo I no influye en la cohesión del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo.

H₁: El cemento portland tipo I influye en la cohesión del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo.

Donde para Anova:

- Si el valor de $F >$ valor crítico de F , se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $F <$ valor crítico de F , se acepta la hipótesis nula.

Donde para Tukey:

- Si el valor de $P < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $P > 0.05$, se acepta la hipótesis nula

a) Descriptiva estadística

Tabla 29

Valores estadística

Group	Count	Mean	Variance	SS	95 % trust	
					Lower	Upper
0.0 %	3	4.25	0.02	0.04	4.34	6.12
5.0 %	3	6.96	0.387	0.75	7.05	8.82
10.0 %	3	3.24	0.57	1.17	3.82	5.56
15.0 %	3	6.12	0.71	1.41	4.84	6.58

Nota: La tabla plasma que los resultados de los valores estadísticos previos al hacer el análisis de varianza donde a un 95% de confianza se presenta el lower y upper.

b) Análisis de varianza

Tabla 30

Análisis de varianza para la cohesión

Sources	SS	df	MS	F	P	F critical
B. groups	16.77	3	6.14	11.23	0.001	4.066
W. groups	3.43	8	0.32			
Total	20.20	11	2.04			

Nota: Se denota que el valor de F calculado es mayor que el valor crítico de F entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, esto se afirma a un 95% de confianza.

c) Tukey

Tabla 31

Diferencia de medias de la cohesión

Tukey						
CP	mean	std err	p - value	95 %		
				Lower	Upper	
5.0 %	2.71	0.36	0.00	1.01	3.44	
10%	0.56	0.36	0.62	-1.04	2.18	
0.0 %	15 %	0.48	0.36	0.79	-1.18	2.34

	0.0 %	2.71	0.36	0.00	1.04	4.66
5.0 %	10 %	3.32	0.36	0.00	1.57	5.02
	15.0 %	2.30	0.36	0.01	0.58	4.07
	0.0%	0.55	0.36	0.62	-1.11	2.22
10.0%	5.0%	3.30	0.36	0.00	1.54	5.02
	15.0%	2.30	0.36	0.01	0.58	4.03
	0.0%	0.49	0.36	0.79	-1.29	2.18
15.0 %	5.0%	2.30	0.36	0.01	0.58	4.01
	10%	1.00	0.36	0.29	-0.72	3.73

Nota: Se denota que el valor de p calculado es menor que 0.05 se afirma a un 95% de confianza que se acepta la hipótesis alterada y se rechaza la hipótesis nula.

b. Hipótesis específica 02

H₀: El cemento portland tipo I no influye en el ángulo de fricción del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo.

H₁: El cemento portland tipo I influye en el ángulo de fricción del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo de corte directo.

Donde para Anova:

- Si el valor de $F >$ valor crítico de F , se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $F <$ valor crítico de F , se acepta la hipótesis nula.

Donde para Tukey:

- Si el valor de $P < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.

- Si el valor de $P > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

a) Descriptiva estadística

Tabla 32

Valores de estadística

Group	Count	Mean	Variance	SS	95 %	
					Lower	Upper
0.0 %	3	1.073	0.00	0.00	2.04	2.1
5.0 %	3	1.093	0.00	0.00	2.06	2.12
10 %	3	1.123	0.00	0.00	2.13	2.17
15.0 %	3	1.123	0.00	0.00	2.10	2.15

Nota: La tabla muestra que los cálculos de los valores estadísticos previos al hacer el análisis de varianza donde a un 95% de confianza se presenta el lower y upper.

b) Análisis de varianza

Tabla 33

Análisis de varianza del ángulo de fricción

Sources	SS	df	MS	F	P	F critical
B. groups	0.02	3	0.004	6.22	0.008	4.066
W. groups	0.00	8	0.000			
Total	0.02	11	0.004			

Nota: Se denota que el valor de F calculado es mayor que el valor crítico de F entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, esto se afirma a un 95% de confianza.

c) Tukey

Tabla 34*Diferencia de medias del ángulo de fricción*

Tukey						
CP	mean	std err	p - value	95 %		
				Lower	Upper	
0.0 %	5.0 %	0.02	0.03	0.42	-0.03	0.05
	10%	0.05	0.03	0.02	0.02	0.08
	15 %	0.05	0.03	0.02	0.02	0.08
5.0 %	0.0 %	0.02	0.03	0.42	-0.03	0.05
	10 %	0.03	0.03	0.16	-0.02	0.06
	15.0 %	0.03	0.03	0.16	-0.02	0.06
10%	0.0%	0.05	0.03	0.02	0.02	0.08
	5.0%	0.03	0.03	0.16	-0.02	0.06
	15.0%	0.00	0.03	0.9	-0.05	0.03
15.0 %	0.0%	0.05	0.03	0.02	0.02	0.08
	5.0%	0.03	0.03	0.16	-0.02	0.06
	10%	0.00	0.03	0.9	-0.05	0.05

Nota. Se denota que el valor de p alcanzado es menor que 0.05, donde se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

c. Hipótesis específica 03

H₀: El cemento portland tipo no influye en la consolidación del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo edométrico.

H₁: El cemento portland tipo influye en la consolidación del suelo expandible mediante los parámetros del ensayo edométrico.

Donde para Anova:

- Si el valor de $F >$ valor crítico de F , se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $F <$ valor crítico de F , se acepta la hipótesis nula.

Donde para Tukey:

- Si el valor de $P < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula.
- Si el valor de $P > 0.05$, se acepta la hipótesis nula.

a) Descriptiva estadística

Tabla 35

Valores de estadística

Group	Count	Mean	Variance	SS	95 %	
					Lower	Upper
0.0 %	3	3.91	1.22	2.61	1.69	5.20
5.0 %	3	23.65	2.11	4.31	21.50	25.04
10 %	3	40.01	3.56	7.38	37.70	41.24
15.0 %	3	64.40	4.42	8.99	63.33	66.67

Nota: La tabla muestra que los cálculos de los valores estadísticos previos al hacer el análisis de la varianza donde a un 95% de confianza se presenta el lower y upper.

b) Análisis de varianza

Tabla 36*Análisis de varianza de la consolidación*

Sources	SS	df	MS	F	P	F critical
Between groups	11.17	3	4.14	8.11	0.00	4.066
Within groups	1.28	8	0.17			
Total	12.45	11	3.16			

Nota: Se denota que el valor de F calculado es mayor que el valor crítico de F entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, esto se afirma a un 95% de confianza.

c) Tukey

Tabla 37*Diferencia de medias de la consolidación*

Tukey						
CP	mean	std err	p - value	95 %		
				Lower	Upper	
	5.0 %	18.13	0.58	0.00	15.47	24.39
0.0 %	10%	34.11	0.58	0.00	31.67	40.59
	15 %	51.55	0.58	0.00	57.11	66.03
	0.0 %	19.93	0.58	0.00	15.47	24.39
5.0 %	10 %	14.10	0.58	0.00	11.74	20.66
	15.0 %	41.63	0.58	0.00	37.17	46.09
	0.0%	34.11	0.58	0.00	31.67	40.59
10%	5.0%	14.10	0.58	0.00	11.74	20.66
	15.0%	22.23	0.58	0.00	20.97	29.89

	0.0%	51.55	0.58	0.00	57.11	66.03
	5.0%	41.63	0.58	0.00	37.17	46.09
15.0 %	10%	22.23	0.58	0.00	20.97	29.89

Nota: Se denota que el valor de p calculado es menor que 0.05 se afirma a un 95% de confianza que se acepta la hipótesis alterada y se rechaza la hipótesis nula.

5.2. Discusión de resultados

I. Discusión de resultados del objetivo general:

Del objetivo general analizamos que el cemento portland tipo I influye en las propiedades físicas y mecánicas de suelos expandibles para la cimentación de viviendas unifamiliares con una adición al 5.0% en comparación a la muestra natural sin cemento.

II. Discusión de resultados del objetivo específico 01:

La resistencia al corte con respecto a la cohesión exhibe datos dispersos en un conjunto de muestras de 0.35 kg/cm², 1.43 kg/cm², 1.0 kg/cm² derivados de 5%, 10%, 15% respectivamente (tabla 14), donde el menor valor es de 0.35 kg/cm² para un 5% de cemento portland (CP). Son datos dispersos en un mismo conjunto, sin embargo, en relación a la muestra inicial sin añadir CP presenta incrementos donde el mayor valor a un 10% es de 1.43 kg/cm².

Chipana, (2022). Para su estudio indica que alcanzo valores para proporciones de cemento de 6%, 12%, 18% de 0.27 kg/cm², 0.29 kg/cm², 0.30 kg/cm² respectivamente, sin embargo, en comparación con nuestra tesis los resultados son parecidos ya que no son iguales porque las proporciones añadidas son diferentes donde en nuestra tesis existe un

mayor aumento en cuanto a la cohesión que al comparar a un 5% se tiene un 0.35 kg/cm^2 y para un 6% se tiene un 0.29 kg/cm^2 de la tesis en comparación.

III. Discusión de resultados del objetivo específico 02:

La resistencia al corte con respecto al ángulo de fricción exhibe datos dispersos en un conjunto de muestras de $26^{\circ}50'00''$, $25^{\circ}27'51''$, $33^{\circ}34'25''$ derivados de 5%, 10%, 15% respectivamente (tabla 19), donde el menor ángulo es de $26^{\circ}50'00''$ para un 5% de CP. Son datos dispersos en un mismo conjunto, sin embargo, en relación a la muestra de inicial sin añadir CP presenta incrementos donde el mayor valor a un 15% es de $33^{\circ}34'25''$.

Chipana, (2022). Para su estudio indica que alcanzo valores para proporciones de cemento de 6%, 12%, 18% de $33^{\circ}42'00''$, $33^{\circ}49'00''$, $33^{\circ}59'00''$ respectivamente, sin embargo, en comparación con nuestra tesis los resultados son parecidos ya que no son iguales porque las proporciones añadidas son diferentes donde en nuestra tesis existe un aumento considerable en cuanto al ángulo de fricción que al comparar a un 15% se tiene un $33^{\circ}34'25''$ y para un 18% se tiene un $33^{\circ}59'00''$ de la tesis en comparación.

IV. Discusión de resultados del objetivo específico 03:

La consolidación exhibe datos dispersos en un conjunto de muestras de 3.92 kg/cm^2 , 3.12 kg/cm^2 , 4.32 kg/cm^2 derivados de 5%, 10%, 15% respectivamente (tabla 28), donde el menor valor es de 3.12 kg/cm^2 para un 10% de CP. Son datos dispersos en un mismo conjunto, sin embargo, en comparación a la muestra de suelo natural sin añadir CP presenta incrementos donde el mayor valor a un 15% es de 4.32 kg/cm^2 .

Tesis con modificaciones de CP en suelos expandibles con respecto a la consolidación mediante el ensayo edométrico, para comparar los resultados no se han

encontrado estudios mediante esta prueba para la consolidación. Esta prueba nos permite determinar la reducción de volumen de suelos expansibles que es ocasionado por la actuación de cargas sobre su masa y que provoca en un lapso de tiempo generalmente largo.

VI: Conclusiones

Conclusión para el objetivo general

La modificación de una muestra de suelo natural mediante las proporciones de 5%, 10%, 15% de CP a través de laboratorio en las propiedades físicas mecánicas en una muestra de suelo de las cimentaciones de viviendas unifamiliares en el sector de Molinopata si influye para proporciones al 10% (tabla 14, 19, 28), donde la adición al 10% es la más adecuada para estabilizar una cimentación superficial y que esta tenga una mayor resistencia al deslizamiento.

Conclusión para el objetivo específico 01

Se analizó la resistencia al corte para la cohesión donde sus resultados logrados son de 0.35 kg/cm², 1.43 kg/cm², 1.0 kg/cm² para proporciones de 5%, 10%, 15% de CP respectivamente (tabla N°14), donde este presenta valores dispersos en un mismo conjunto de muestras donde a un 10% influye y es la más óptima para estabilizar un suelo expansible.

Conclusión para el objetivo específico 02

Se demostró la resistencia al corte para el ángulo de fricción donde sus resultados logrados son de 26°50'00", 25°27'51", 33°34'25" para proporciones de 5%, 10%, 15% de CP respectivamente (tabla N°19), donde este presenta valores dispersos en un mismo

conjunto de muestras donde a un 10% si influye y a más adición de CP aumenta el ángulo de fricción por ende su resistencia al deslizamiento es mucho mayor esto se traduce a una mayor capacidad de carga así como, es la más adecuada para estabilizar un suelo expandible.

Conclusión para el objetivo específico 03

Se demostró la consolidación mediante el ensayo edométrico donde sus resultados logrados son de 3.92 kg/cm^2 , 3.12 kg/cm^2 , 4.32 kg/cm^2 para proporciones de 5%, 10%, 15% de CP respectivamente (tabla N°28), donde este presenta valores dispersos en un mismo conjunto de muestras donde a un 10% si influye y es la más óptima para las sollicitaciones sobre su masa, así como se alargue su tiempo para un posible asentamiento y pueda causar daños en su estructura.

VII: Recomendaciones

1. Para futuras tesis similares al tema se recomienda ensayos directos en campo como son las pruebas de placa de carga donde esta calcula la deformación del suelo en función a una carga sobre esta. También para los tesisas interesados que les guste la rama de la geotecnia apliquen investigaciones a nivel real o en campo para alcanzar mejores resultados siempre y cuando tengan la posibilidad económica por ende la contribución será más eficiente para estabilizar una estructura con posible asentamiento.
2. Para la prueba de corte directo con respecto a la cohesión se recomienda ensayos de campo como la prueba de penetración estándar (SPT) y proporciones con relacion a la muestra de suelo natural en proporciones de 2% porque los resultados a alcanzar se graficarán de mejor manera y se podrá interpretar mejor los resultados.
3. Para la prueba de corte directo con respecto al ángulo de fricción se recomienda ensayos reales como la prueba de penetración estándar (SPT) y de igual manera proporciones que fluctúen en un 2% porque los resultados a alcanzar se graficarán de mejor manera y se podrá interpretar mejor los resultados.
4. Para la consolidación se recomienda que las proporciones con respecto a la muestra patrón fluctúen en un 2% ya que se alcanzaran mejores resultados por ende existirá mejores gráficas, así como la interpretación será más adecuada y técnica.

VII: Referencias

- Álvarez, J. (2024). *Los asentamientos en la Sabana de Bogotá y las implicaciones en las edificaciones se deben a la falta de estudio en el manejo de las aguas, el desconocimiento de las normas y la falta de una reglamentación urbanística que integre el agua con la ciudad*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá. Obtenido de <https://www.escuelaing.edu.co/es/noticias/inclinaciones-y-agrietamientos-un-mal-comun-en-edificaciones-bogotanas/>
- Angulo Roldan, D. y. (2016). "Ensayo de fiabilidad con aditivo PROES para la estabilización del suelo en el AA.HH el Milagro, 2016". *Tesis de grado*. Universidad Científica del Perú, Iquitos, Loreto. Obtenido de <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/142>
- Atienza, M. D.-B. (2008). *Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal*. Madrid: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). Obtenido de <http://www.anter.es/pdf/MANUAL-SUELOS.pdf>
- Barragan, G., & Cuervo, C. (2019). *Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo arenoso-arcilloso*. [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6488>
- Behar, R. (2008). *Metología de la Investigación*. Obtenido de <http://rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>
- Bowles, J. (1990). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. McGraw-Hill.

- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Mexico: Libros McGraw-Hill. Obtenido de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/08/josephe-e-bowles-manual-de-laboratorio-de-suelos.pdf>
- Braja, D. (2011). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Obtenido de <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2022/01/fundamentos-de-ingenieria-geotecnica-BMD.pdf>
- Caicedo, B., & Patarroyo, A. (2017). *Caracterización del comportamiento de suelos expansivos ante la migración de agua mediante modelación en centrífuga*. [Artículo, Universidad de los Andes de Colombia]. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/bdd836d2-4068-410b-a682-c6d0b93bef42>
- Camelo Rojas, A. S. (2021). Propiedades resilientes de subrasantes granulares estabilizadas con ceniza volante para diseño de pavimentos flexibles. *Trabajo de Grado*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/cdc6582f-9345-4581-b324-ee1d2fada0c5/content>
- Cano, R., & Cardenas, T. (2021). *Análisis comparativo de la influencia en las propiedades índice y mecánicas de un suelo para subrasante añadiendo ceniza del bagazo de la cañaduz en la ruta Canua a Llinqui – Aymaraes – Apurímac, 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Obtenido de <https://repositorio.utea.edu.pe/items/c1ad9cfa-2a1d-463b-ab45-ed6a4311b75d>

- CAP, P. (2018). *idencity*. Obtenido de <https://www.idencityconsulting.com/viviendas-informales-en-el-peru/>
- Carrasco Díaz, S. (2006). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima, Perú: San Marcos. Obtenido de https://www.academia.edu/26909781/Metodologia_de_La_Investigacion_Cientifica_a_Carrasco_Diaz_1_
- Carrillo Vera, R. R. (2018). Sustitución del cemento por 8% y 16% en combinación del molusco *trachy cardium procerum* (pata de mula) y hoja de eucalipto en mortero y determinar su resistencia. *Tesis de Grado*. Universidad San Pedro, Chimbote, Perú. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USPE_33a2da4600375d5b064030595820d7b9/Details
- Castillo, F. (2017). *Estabilizacion de suelos arcillosos de Macas con valores CBR menores al 5% y límites líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como subrasantes en carreteras*. [Tesis de posgrado, Universidad de Cuenca]. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26917>
- Castillo, P. (2018). *Influencia de la aplicación de aditivos químicos en la estabilización de suelos cohesivos para uso como subrasante mejorada de pavimentos entre los sectores Calamarca - Huaso, La Libertad, 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13798>
- Castro, A., & Castaño, Á. (2020). *Estabilidad de agregados de suelos de la zona cafetera de Colombia*. Obtenido de <https://www.cenicafe.org/es/publications/6-Estabilidad.pdf>

- Chipana, W. (2022). *Análisis comparativo de la influencia de adición de cal y cemento en la capacidad portante del suelo de cimentación de las viviendas autoconstruidas del sector de Moyocorral – Abancay – Apurímac – 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Obtenido de <https://repositorio.utea.edu.pe/bitstreams/395fb791-abab-43f2-85e0-0405c66f9b73/download>
- Chocontá Osuna, A. C. (2021). Estabilización de un suelo arcilloso de la zona occidental sabana de Bogotá con adición de cal hidratada comparando métodos de elementos finitos y semi-empíricos. *Trabajo de Grado*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5868fb5d-708d-4823-94ea-cdfce85f4124/content>
- Cortez, B. (2019). *Aplicación técnica del ensayo de consolidación unidimensional de suelos ASTM D-2435 a las muestras obtenidas de la avenida final Buenos Aires*. [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia]. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/27522>
- Cristobal, F., & Quinte, M. (2021). *Estabilización de subrasante con cenizas de eucalipto, paraje turístico Piedra Parada, Concepcion, Junín, 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11362>
- Cruz, N. (2016). *Análisis Geotécnico y Propuesta de cimentaciones sobre Rellenos en la Zona Nor - Oeste de la Ciudad de Juliaca*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. Obtenido de <https://uancv.edu.pe/es/node/48>

E.050. (2018). *Suelos y cimentaciones*. Obtenido de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf

García Araujo, B. J. (2021). Análisis de la estabilidad de un suelo arcilloso con cáscaras de huevo pulverizadas añadidas. *Trabajo de Grado*. Universidad de La Salle, Bogotá D.C. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1964&context=ing_civil

García, A., & Ludeña, W. (2022). *Adición del terrasil y ceniza de hojas de eucalipto para mejorar la subrasante del camino vecinal Socos – Yanayacu, Ayacucho, 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Obtenido de file:///C:/Users/jaime/Downloads/Garcia_CAM-Lude%C3%B1a_CWF-SD.pdf

Goñas, O., & Saldaña, J. (2020). *Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada*. [Revista Científica, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Obtenido de <https://revistas.untrm.edu.pe/index.php/CNI/article/view/589>

Hernández Lara, J. A. (2016). Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad de El Salvador. *Título de Ingeniero Civil*. Universidad de El Salvador, El Salvador. Obtenido de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14342/1/50108285.pdf>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta edición ed.). México: Miembro de la Cámara Nacional de

la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Huarcaya Quiquia, R. B. (2021). Estabilización de una subrasante arcillosa de baja plasticidad con cenizas de cáscara de arroz. *Grado académico de bachillera en ciencias con mención en ingeniería civil*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/18221#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20concluye%20que%20el,de%20fricci%C3%B3n%20y%20la%20cohesi%C3%B3n.>

Juárez Badillo, E. y. (2011). *Mecánica de Suelos: Fundamentos de la Mecánica de Suelos* (1 ed., Vol. I). México: Limusa. Obtenido de https://suelos.milaulas.com/pluginfile.php/128/mod_resource/content/1/Mecanica%20de%20suelos%20-%20Juarez%20Badillo.pdf

Junco del Pino, J. M. (2011). Aditivo químico obtenido de sales cuaternarias empleado para la estabilización de suelos arcillosos de subrasantes de carreteras. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 5(2). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3711821>

Jurado, C., & Clavijo, D. (2016). *Estabilización de suelos con cemento tipo MH para mejorar las características físicas y mecánicas del material de subsuelo de la zona de talleres y cocheras de la PLMQ, sector Quitumbe*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Obtenido de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2968889>

Licuy Ordóñez, C. A. (2020). Estudio de la estabilización de arcillas expansivas utilizando el 10,20 y 30% en peso, de puzolanas de ceniza del volcán Tungurahua y ceniza de la cascarilla de arroz en composiciones iguales. *Obtención del título de Ingeniero Civil*. Escuela politécnica nacional, Quito, Ecuador. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20630>

López Sumarriva, J. J. (2018). Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San luis de la ciudad de Abancay. *Para optar el título de Ingeniero Civil*. Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay, Perú. Obtenido de [https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/152/1/Tesis-Estabilizaci%
c3%b3n%20de%20suelos%20arcillosos%20con%20cal.pdf](https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/152/1/Tesis-Estabilizaci%c3%b3n%20de%20suelos%20arcillosos%20con%20cal.pdf)

Márquez Siguas, B. M. (2014). *"Teoría de muestreo - Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones"*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-b34d7ab4fbe2/content>

Matías Quispe, S. (2019). Resistencia de un concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ sustituyendo el 10% y 16% de cemento por una combinación de cáscara de huevo y ceniza de hoja de eucalipto. *Para optar el título profesional de ingeniero civil*. Universidad San Pedro, Huaraz, Perú. Obtenido de <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/8015>

Ministerio de Transportes y, C. (2014). *Manual de carreteras - suelos geología, geotecnia y pavimentos - sección suelos y pavimentos - R.D.N°10*. Lima, Perú: Dirección General

de Caminos y Ferrocarriles. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf

Ministerio de Transportes y, C. (2015). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - R.D.N°22 - 2013 - MTC/14* (Setiembre ed.). Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (Segunda reimpresión de la segunda edición ed.). Bogotá: Stella Valbuena de Fierro. Obtenido de <https://samustuto.files.wordpress.com/2014/09/ingenieria-de-pavimentos-para-carreteras-tomo-i-ed-3ra-alfonso-montejo-fonseca.pdf>

MTC. (2018). *Glosario de terminos*. Lima: MTC. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/10338-002-2018-mtc-14>

Nogués, F. S.-G. (2010). *Energía de la Biomasa (volumen I)* (Primera edición ed.). España: Prensas Universitarias de Zaragoza. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=P58rcPu5O90C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Perez Mantilla, Y. (2018). Resistencia del concreto $f'c=210$ kg/cm² sustituyendo al cemento en 4% y 8% por la ceniza de tronco de Eucalipto (*Eucaliptus Globulus*). *Titulo de Ingeniero Civil*. Universidad San Pedro, Chimbote. Obtenido de <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/7975>

- Ramos, J. (2011). *Capacidad de Soporte de los Suelos*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/59596724/Capacidad-de-Soporte-de-Un-Suelo>
- Rincón Hernández, L. P. (2020). Análisis de la resistencia a la compresión inconfina y CBR de un afirmado estabilizado con ceniza de bagazo de caña de azúcar y cal. *Trabajo de grado - Pregrado*. Universidad de la Salle, Bogotá D.C. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1881&context=ing_civil
- RNE. (2021). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Roca, M., & Tomalá, A. (2023). *Análisis de comportamiento mecánico y correlación de magnitud de esfuerzos en suelos expansivos pertenecientes al sector Ancón-Ecuador*. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10569>
- Romanelli. (07 de Agosto de 2019). *La viabilidad de la estabilización de suelos con cemento*. Recuperado el 28 de Abril de 2023, de <https://www.romanelli.com.br/pt/noticias/avibilidade-da-estabilizacao-de-solos-com-cimento->
- Salazar, A. (2002). *“Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos”* (3 ed.). Cali: Corporación Construir. Obtenido de https://www.academia.edu/24569108/Puzolonas_Texto_elaborado_por_Alejandro_Salazar_J
- Salinas, J., & Villao, R. (2019). *Estudio comparativo de estabilización de suelos de subrasante suelos expansivos, utilizando cal, sal y geoceldas, para implementación*

en una nueva vía en la comuna Bajadita de Colonche de la parroquia Colonche.

[Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Obtenido de

<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5223>

Terrones, Á. (2019). *Estabilización de suelos arcillosos adicionando cenizas de bagazo de caña para el mejoramiento de la subrasante en el sector Barraza, Trujillo - 2018.*

[Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte]. Obtenido de

<https://hdl.handle.net/11537/14971>

Zuluaga, J. (2024). *Soluciones constructivas para la construcción de infraestructuras sobre suelos expansivos.* [Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla de España]. Obtenido

de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/95284/fichero/TFG-5284+Zuluaga+Morales.pdf>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes