

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS  
SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL  
DISTRITO DE CALANA – TACNA 2021”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. GUADALUPE CCALLA COILA**

**Bach. GIANCARLO ADRIANO ZEGARRA VALENZUELA**

**TACNA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS  
DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA – TACNA 2021”**

Tesis sustentada y aprobada el 30 de Octubre del 2021 estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE: Mtro. SANTOS TITO GÓMEZ CHOQUEJAHUA**

**SECRETARIO: Mtra. MARÍA LOURDES CHAMBILLA CHIPANA**

**VOCAL: Mgr. MARTÍN PAUCARA ROJAS**

**ASESOR: Mtro. ALFONSO OSWALDO FLORES MELLO**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Guadalupe Ccalla Coila, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI 71522314.

Yo Giancarlo Adriano Zegarra Valenzuela, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 45422994.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada:

*“Evaluación del Potencial de Colapso en los Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas en el Distrito de Calana – Tacna 2021”*

el mismo que se presenta para optar:

El título Profesional de Ingeniero Civil.

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

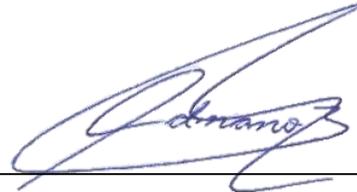
De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestras acciones se derive, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 30 de Octubre del 2021.



---

Bach. Ccalla Coila, Guadalupe  
DNI: 71522314



---

Bach. Zegarra Valenzuela, Giancarlo Adriano  
DNI:45422994

## DEDICATORIA

A mi hermana Eva y cuñado Edgar por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, por la dedicación y paciencia que me han dado a lo largo de mi carrera, de mi vida y además de saber que mis logros también son los suyos.

A mis padres Lorenzo y Serafina quienes, con su amor y cariño, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A mi madre Velia que con su esfuerzo, comprensión y dedicación siempre estuvo apoyándome en cada momento.

A mis abuelos Otilia y Jaime que en paz descansen, que con sus enseñanzas desde niño me inculcaron a ser una mejor persona y alcanzar mis objetivos.

## AGRADECIMIENTO

A Dios porque sin el nada esto hubiera sido posible.

A nuestros padres que nos apoyaron en todo momento, por la paciencia que nos  
tuvieron y por ser un ejemplo en nuestras vidas.

A nuestros docentes que a lo largo de la carrera aportaron con su dedicación y  
guía.

A nuestro asesor quien nos guio y aconsejó en este arduo camino.

A todas las personas que hicieron posible que concluyéramos con esta tesis y su  
apoyo constante.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción del Problema.....	3
1.1.1. Identificación del Problema.....	5
1.1.2. Caracterización del Problema .....	5
1.1.3. Variables de Investigación.....	6
1.2. Formulación del Problema.....	6
1.2.1. Interrogante Principal.....	6
1.2.2. Interrogantes Específicos .....	7
1.3. Justificación e Importancia de la Investigación .....	7
1.4. Objetivos .....	8
1.4.1. Objetivo General .....	8
1.4.2. Objetivos Específicos .....	8
1.5. Hipótesis .....	8
1.5.1. Hipótesis General .....	8
1.5.2. Hipótesis Especifica.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	9
2.2. Bases Teóricas .....	10
2.2.1. Granulometría .....	10
2.2.2. Densidad In-situ .....	12
2.2.3. Contenido de Humedad.....	13
2.2.4. Peso Específico de Finos .....	14
2.2.5. Peso Unitario Mínimo y Máximo de Suelos .....	15
2.2.6. Límite Líquido (LL).....	17
2.2.7. Límite Plástico.....	18
2.2.8. Índice de Plasticidad.....	18
2.2.9. Sistema de Clasificación de Suelos (SUCS).....	19
2.2.10. Análisis Químico en Suelos .....	20

2.2.11. Corte Directo .....	21
2.2.12. Características de los Suelos Colapsables .....	24
2.2.13. Tipos de suelos Colapsables .....	24
2.2.14. Método de Ensayo de Colapso .....	25
2.3. Definición de Términos .....	29
2.3.1. Mecánica de Suelos .....	29
2.3.2. Contenido de Humedad .....	29
2.3.3. Densidad In-situ .....	29
2.3.4. Muestra Inalteradas .....	29
2.3.5. Suelo Colapsable .....	29
2.3.6. Ceniza Volcánica .....	30
2.3.7. Índice de Colapso .....	30
2.3.8. Potencial de Colapso .....	30
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	31
3.1. Tipo y Nivel de la Investigación .....	31
3.1.1. Tipo de Investigación .....	31
3.1.2. Nivel de Investigación .....	31
3.2. Población y/o Muestra de Estudio .....	31
3.3. Operacionalización de Variables .....	32
3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos .....	33
3.4.1. Recopilación de Datos: .....	33
3.4.2. Puntos Tomados para la Excavación de Calicatas .....	34
3.4.3. Nivel Freático .....	37
3.4.4. Muestreo del Material y Procedimiento en Laboratorio .....	37
3.4.5. Parámetros Importantes de la Investigación .....	45
3.5. Procesamiento y Análisis de Datos .....	46
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	47
4.1. Ensayos Estándar .....	47
4.1.1. Contenido de Humedad .....	47
4.1.2. Densidad In-situ .....	47
4.1.3. Límites de Atterberg .....	48
4.1.4. Peso Específico de Finos .....	48
4.1.5. Peso Unitario Mínimo y Máximo de Suelos .....	49
4.1.6. Análisis Granulométrico .....	50
4.1.7. Clasificación de Suelos S.U.C.S. .....	50
4.1.8. Análisis Químico .....	52

4.2.	Ensayos Especiales.....	52
4.2.1.	Corte Directo.....	52
4.2.2.	Potencial de Colapso.....	57
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		62
5.1.	Análisis de Resultados.....	62
5.1.1.	Ensayos Estándar.....	62
5.1.2.	Ensayos Especiales.....	63
5.1.3.	Relación del Potencial de Colapso.....	64
5.2.	Mejoramiento de Suelos Derivados de Ceniza Volcánica.....	66
5.3.	Correlación de Variables.....	67
5.3.1.	Confiabilidad del Instrumento.....	67
5.3.2.	Validez del contenido del instrumento.....	68
5.4.	Prueba de normalidad.....	69
CONCLUSIONES.....		72
RECOMENDACIONES.....		73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		74
ANEXOS.....		77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ensayo de granulometría – tamaño de malla .....	11
Tabla 2. Valores de factor de corrección.....	15
Tabla 3. Clasificación de suelos según el Índice de Plasticidad.....	19
Tabla 4. Símbolos de la clasificación SUCS .....	19
Tabla 5. Límites permisibles de agresividad del suelo al concreto.....	21
Tabla 6. Clasificación del índice de colapso .....	28
Tabla 7. Cuadro de operacionalización de variables .....	33
Tabla 8. Coordenadas de las calicatas para la toma de muestras. ....	35
Tabla 9. Resultados de los ensayos de contenido de humedad .....	47
Tabla 10. Resultados del ensayo de Densidad in-situ. ....	48
Tabla 11. Resultados del ensayo de Peso específico de finos. ....	49
Tabla 12. Resultados del ensayo de densidad máxima y densidad mínima.....	49
Tabla 13. Resultado del análisis granulométrico.....	50
Tabla 14. Clasificación de los suelos de estudio .....	51
Tabla 15. Estratigrafía del suelo en estudio .....	51
Tabla 16. Resultado del análisis químico .....	52
Tabla 17. Esfuerzos obtenidos de los 3 especímenes en la calicata 1 .....	53
Tabla 18. Esfuerzos cortantes y lecturas de deformación de la calicata 1.....	54
Tabla 19. Resultados del ensayo de corte directo .....	56
Tabla 20. Resultados del ensayo de corte directo con muestras saturadas.....	57
Tabla 21. Densidad seca y límite líquido para evaluar el potencial de colapso .....	58
Tabla 22. Relación de vacíos para el ensayo de colapso con 1 kg/cm <sup>2</sup> de carga ...	59
Tabla 23. Relación de vacíos para el ensayo de colapso con 2 kg/cm <sup>2</sup> de carga ...	60
Tabla 24. Resultados del ensayo de colapso para 1 kg/cm <sup>2</sup> y 2 kg/cm <sup>2</sup> .....	61
Tabla 25. Densidades secas vs potencial de colapso .....	64
Tabla 26. Sales solubles totales vs potencial de colapso.....	65
Tabla 27. Coeficiente de Alpha de Cronbach de la variable independiente.....	67
Tabla 28. Coeficiente de Alpha de Cronbach de la variable dependiente.....	68
Tabla 29. Validación del instrumento mediante la Prueba de KMO y Bartlett para la variable independiente.....	68
Tabla 30. Validación del instrumento mediante la Prueba de KMO y Bartlett para la variable dependiente.....	69
Tabla 31. Prueba de normalidad para variable independiente .....	69
Tabla 32. Prueba de normalidad para variable dependiente .....	70
Tabla 33. Correlaciones.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de formación de suelos de origen volcánico .....	3
Figura 2. Zonas de actividad volcánica en el mundo .....	6
Figura 3. Curva granulométrica .....	11
Figura 4. Equipo para la densidad in-situ .....	12
Figura 5. Varillado de la muestra .....	16
Figura 6. Equipo para ensayo de límite líquido .....	17
Figura 7. Tabla de clasificación de suelos .....	20
Figura 8. Equipo para realizar ensayo de corte directo .....	23
Figura 9. Gráfica de deformación horizontal para el ensayo de corte directo .....	24
Figura 10. Equipo para el ensayo de colapso .....	26
Figura 11. Criterios para el potencial de colapso .....	27
Figura 12. Gráfica de ensayo de colapso .....	28
Figura 13. Ubicación de la zona del estudio .....	32
Figura 14. Zona de estudio .....	34
Figura 15. Ubicación de la las calicatas. ....	35
Figura 16. Excavación de las calicatas mediante maquinaria pesada. ....	36
Figura 17. Descripción de calicata.....	36
Figura 18. Excavación de orificio para el ensayo de densidad in situ .....	37
Figura 19. Secado al horno de muestras .....	38
Figura 20. Muestras para el contenido de humedad.....	39
Figura 21. Muestras a ser calentadas en baño maría. ....	40
Figura 22. Varillado de muestra.....	41
Figura 23. Lavado de muestra .....	42
Figura 24. Muestras inalteradas .....	43
Figura 25. Toma de lecturas de deformaciones y fuerzas.....	44
Figura 26. Toma de lecturas de deformaciones.....	45
Figura 27. Esfuerzo normal vs. esfuerzo cortante .....	53
Figura 28. Esfuerzo normal vs. esfuerzo residual.....	54
Figura 29. Esfuerzo cortante vs. deformación horizontal para la calicata 1 .....	55
Figura 30. Criterios del potencial de colapso para la calicata 1 .....	58
Figura 31. Gráfica de ensayo de colapso para 1 kg/cm <sup>2</sup> y 2 kg/cm <sup>2</sup> de la calicata 1 .....	60
Figura 32. Comparación del potencial de colapso y las densidades secas .....	65
Figura 33. Comparación del potencial de colapso con las sales solubles totales....	66

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “*Evaluación del Potencial de Colapso en los suelos Derivados de Cenizas Volcánicas en el Distrito de Calana – Tacna 2021*” tiene como finalidad el prevenir daños en las futuras construcciones de la zona. El tipo de investigación que se empleó en el presente trabajo es básica ya que partiendo de los problemas latentes que significa construir sobre un suelo colapsable como lo es la ceniza volcánica y haciendo una evaluación respectiva de esta, se aportarán nuevos conocimientos para poder brindar una mejora en la calidad del suelo que será usado para la construcción de viviendas futuras. La ceniza volcánica se clasifica como un suelo colapsable debido a que cambia abruptamente de volumen en presencia de humedad o al saturarse. Las estructuras construidas sobre estos suelos pueden sufrir hundimiento, lo que conllevaría a que la estructura sufra daños como agrietamientos o que incluso su cimentación se vea comprometida. La evaluación del potencial de colapso de suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana se sustenta en los escasos estudios realizados en esta parte de la ciudad. Mediante dicha evaluación se dieron a conocer las características físicas y químicas de estos suelos, así como su comportamiento frente a distintos parámetros mediante los ensayos especiales. Los suelos derivados de ceniza volcánica están compuestos principalmente por cantidades muy pequeñas de limos y arcillas de alta compresibilidad, clasificados en el grupo SM (arena limosa). En los estudios realizados y habiendo comparado los resultados con la clasificación presentada por la Norma Técnica E.050 de suelos y cimentaciones, se identificó que a presiones de  $1,00 \text{ kg/cm}^2$  y  $2,00 \text{ kg/cm}^2$  los suelos en estudio se definen como un suelo de colapso moderado.

**Palabras claves:** Arena limosa, potencial de colapso, clasificación, ceniza volcánica, características físicas y químicas.

## ABSTRACT

The present research work entitled "EVALUATION OF THE COLLAPSE POTENTIAL IN SOILS DERIVED FROM VOLCANIC ASHES IN THE DISTRICT OF CALANA - TACNA 2021" has the purpose of preventing damages in future constructions in the area. The type of research used in this work is basic, since starting from the latent problems of building on collapsible soil such as volcanic ash and making a respective evaluation of it, new knowledge will be provided in order to improve the quality of the soil that will be used for the construction of future houses. Volcanic ash is classified as a collapsible soil because it changes abruptly in volume in the presence of moisture or when saturated. Structures built on these soils may suffer subsidence, which could lead to damage to the structure such as cracking or even compromised foundations. The evaluation of the collapse potential of soils derived from volcanic ash in the Calana district is based on the few studies carried out in this part of the city. By means of this evaluation, the physical and chemical characteristics of these soils, as well as their behavior in relation to different parameters were made known by means of special tests. Soils derived from volcanic ash are mainly composed of very small amounts of silts and clays of high compressibility, classified in the SM group (silty sand). In the studies performed and having compared the results with the classification presented by the Technical Standard E.050 for soils and foundations, it was identified that at pressures of 1,00 kg/cm<sup>2</sup> and 2,00 kg/cm<sup>2</sup> the soils under study are defined as a moderate collapse soil.

**Key words:** silty sand, collapse potential, classification, volcanic ash, physical and chemical characteristics.

## INTRODUCCIÓN

En el trabajo de campo pueden hallarse distintos fenómenos que afecten la estructura, así como la composición del suelo sobre el que se edificará una determinada obra, independientemente del uso que se le vaya a dar a esta.

La manera en que los suelos se comportan son formas complejas y no se atribuyen específicamente a factores mecánicos, ya que en ocasiones están presentes factores de otra naturaleza, como por ejemplo factores de geológicos, factores climáticos, entre otros, provocando significativas variaciones en la composición del suelo. Dentro de estos fenómenos encontramos el colapso abrupto de la estructura de los suelos, a lo cual se le conoce mejor como suelos colapsables.

Estos suelos varían drásticamente su volumen por la influencia de una gran carga o cuando son humedecidos o saturados. Son generalmente suelos cuya estructura se encuentra levemente cementada por sales y debido a esto obtienen una resistencia nominal y que cuando entran en contacto con agua soportan variaciones bruscas en su volumen debido al lavado de sus sales que hacen de cementantes de estos suelos, ya que sufren un reacomodo en su estructura(partículas).

Los suelos colapsables se presentan en cuatro principales tipos y entre estos se encuentra la ceniza volcánica que será el tema de estudio de esta investigación.

En esta investigación se busca prevenir daños a las estructuras de viviendas futuras en el distrito de Calana, realizando una identificación y evaluación del potencial de colapso de la ceniza volcánica.

En el Capítulo I, se desarrolló el planteamiento del problema, donde se determina la problemática de esta investigación, cuál es su justificación, así como la definición de las variables, los objetivos generales y objetivos específicos.

En el Capítulo II, se desarrolló el marco teórico, donde se presentan los estudios relacionados previamente realizados, las definiciones de términos que serán utilizados y las características de los ensayos que se realizarán.

En el Capítulo III, se desarrolló el marco metodológico, en donde se define el tipo y nivel de investigación y que técnicas serán utilizadas para la recolección de datos que posteriormente serán llevados a su procesamiento y análisis respectivo.

En el Capítulo IV, se dan a conocer los resultados de la investigación mediante los ensayos realizados, determinando las características físicas y químicas del suelo en estudio, así como cuál es el potencial de colapso.

En el Capítulo V, se discuten los resultados del capítulo anterior, se plantean soluciones para el mejoramiento de los suelos colapsables y se determina cual es la correlación que existe entre las variables de este trabajo.

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

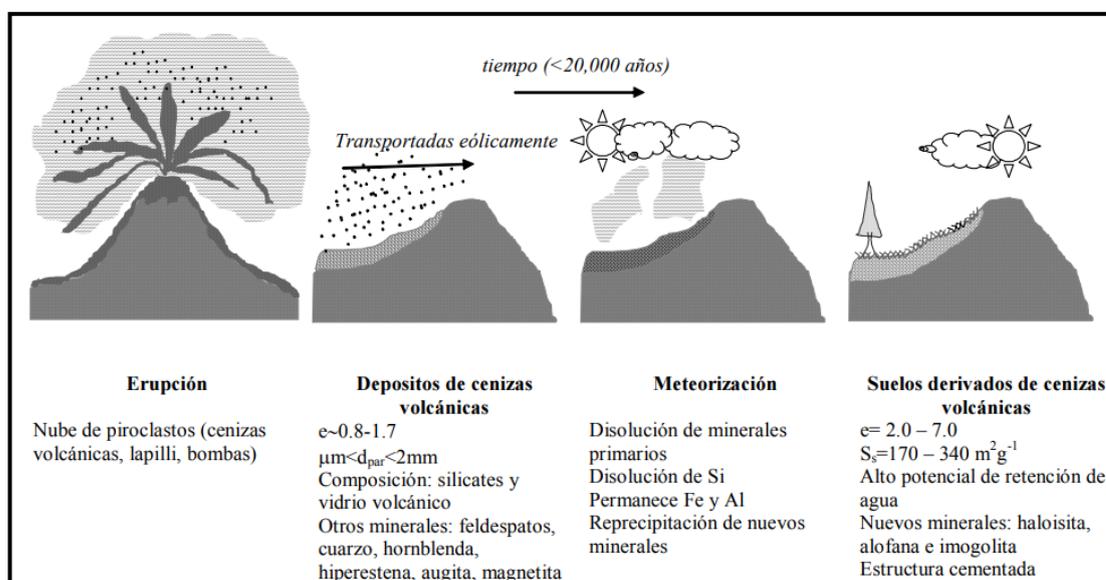
### 1.1. Descripción del Problema

El comportamiento que mantienen los suelos es particular siendo que en muchos casos mantienen complejidad. Los suelos provenientes de cenizas volcánicas comprenden un territorio considerable, en donde la arcilla que componen estos suelos, se denota presencia de alofana, halloisita e imogolita. (Espinoza, 2004).

Como se presenta en la Figura 1, luego de la erupción, la ceniza volcánica sufre un proceso de meteorización, en el cual no solo se pierden algunos componentes del suelo sino que también son adicionados nuevos minerales, que a lo largo de los años conlleva a la formación de los denominados suelos derivados de cenizas volcánicas

**Figura 1**

*Proceso de formación de suelos de origen volcánico*



*Nota.* Adaptado de *Formación de los suelos derivados de cenizas volcánicas*, de A.Liscano, 2006, Energy GeoEngineering Laboratory ([https://egel.kaust.edu.sa/docs/default-source/publications-files/lizcano\\_2006a.pdf](https://egel.kaust.edu.sa/docs/default-source/publications-files/lizcano_2006a.pdf)).

De acuerdo a su locación, podemos inferir que los suelos ubicados cerca de la línea ecuatorial presentan una alta meteorización, como es el caso de las regiones de Perú, Brasil, Colombia, Venezuela, Ecuador y los países de América Central. La mayoría de suelos en regiones próximas a los Andes, suelen ser jóvenes debido a su formación sobre los andes, siendo características de estas zonas la disposición de cenizas volcánicas y entisoles, de esta manera, estos también son los suelos que mayor porcentaje de población sostienen (Espinoza, 2008).

Algunas de las características de estos suelos, son que poseen una difícil dispersión de sus partículas arcillosas, una gran facilidad de drenaje así como una gran capacidad de retención de líquidos. Como es el caso de la humedad natural, los límites de Atterberg y tamaño de partículas, que suelen dotar de valores erróneos y determinar que son materiales de baja calidad para usos ingenieriles (García y Colmenares, 2011).

Para determinar la caracterización de suelos derivados de la ceniza volcánica, se requiere de métodos distintos a los que normalmente se utilizan. Una incorrecta realización de la evaluación de este tipo de suelo, podría desencadenar un problema geotécnico de gran magnitud.

En el sur del Perú, se encuentran activos 08 volcanes que se localizan en la zona volcánica de los Andes, siendo que, las actividades de estos volcanes afectan directamente a las poblaciones aledañas como también la disposición de productos como la ceniza volcánica; es así que, los estudios revelan que, sin importar el origen de la ceniza de estos volcanes, todas poseen características similares de composición química (Apaza et al., 2018).

La ausencia de estudios de suelos en un proyecto, representa un gran riesgo hacia la funcionalidad de una estructura. El determinar las caracterización geológicas y geotécnicas del suelo, nos dará a conocer el comportamiento del mismo ante distintas solicitaciones y comprobar su capacidad de soporte.

Debido a su continuo crecimiento poblacional, la ciudad de Tacna sufre de un constante expansionismo urbano, esto produce a su vez, el requerimiento de un mayor número de estructuras de distinta finalidad en cada uno de sus distritos. El Instituto Nacional de defensa civil viene desarrollando varios estudios de carácter geotécnico en Tacna, pudiendo determinar la importancia de tener conocimiento sobre las propiedades físicas del suelo, debido al riesgo de colapso en algunas zonas de la ciudad a lo largo de los últimos años.

De esta manera, surge la necesidad de llevar a cabo un análisis en el suelo

correspondiente a la Asociación Los Ángeles de Vilauta y alrededores en el distrito de Calana, además de determinar cuáles son las características del suelo y especiales problemas en cuanto a la cimentación y así, poder establecer si presenta algún tipo de riesgo para el usuario e intervenir con tratamientos con el fin de mejorar su estructura.

### **1.1.1. Identificación del Problema**

En la zona del análisis se evidencia la falta de estudios geotécnicos que analicen a profundidad las características del suelo y por tanto se tiene desconocimiento por parte de la población de las propiedades que este posee. Los pobladores vienen edificando sus viviendas en zonas que no están dentro de la habilitación urbana y usan unidades de albañilería que no son las idóneas. Todos estos detalles agravan en gran medida el efecto que los suelos colapsables tienen sobre la edificación.

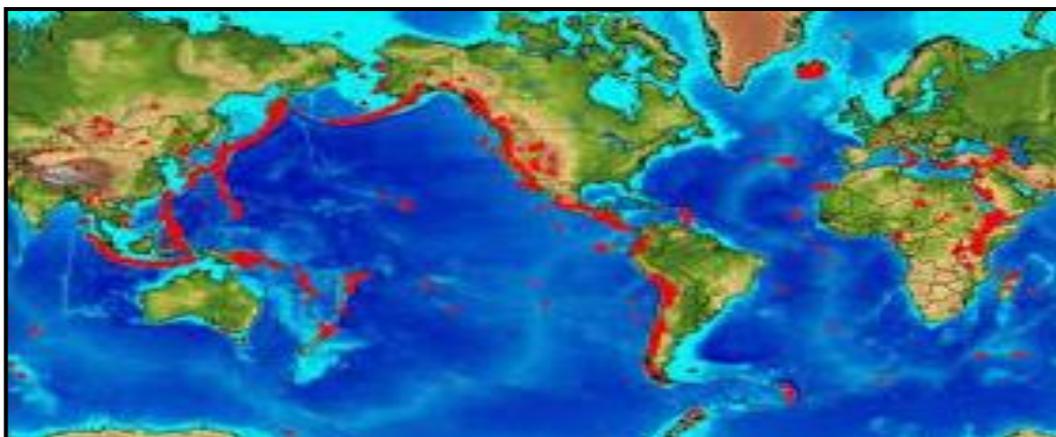
### **1.1.2. Caracterización del Problema**

La ceniza volcánica tiene clasificación de suelo colapsable cuya característica principal es el de cambiar abruptamente su volumen por acción del humedecimiento o al aplicar algún tipo de carga. Dicho acontecimiento, genera el ablandamiento o removimiento de los vínculos que conectan cada una de las partículas, además del colapso respecto a los poros vacíos, lo cual se manifiesta en una variación imprevista respecto al volumen del suelo y la supresión de la solidez al corte del material. Cabe mencionar que, el volumen del colapso y su velocidad dependerán de diversos factores como el porcentaje respecto a la saturación, el índice de vacíos, iones que sean absorbidos, del tipo de iones además de las concentraciones que tengan en el agua que se encuentra en los poros y también las sobrecargas que sean aplicadas.

Como podemos ver en la Figura 2, en las regiones áridas y semiáridas como es el caso de los depósitos eólicos, coluviales, residuales y cenizas volcánicas, se encuentran estos tipos de suelos. Es así que, los suelos colapsables se han identificado alrededor del planeta, como por ejemplo Europa, Sudáfrica, parte de Asia, Norteamérica y Sudamérica. Además, en países como Estados Unidos, China, España, Francia, Alemania, Rusia, Rumania, Guatemala, Argentina, Uruguay, Perú entre otros más.

## Figura 2

*Zonas de actividad volcánica en el mundo*



*Nota.* La figura presenta las zonas identificadas con actividad volcánica en diversas partes del mundo, representado por zonas rojas. Adaptado de: *Principales placas tectónicas y distribución de las cadenas volcánicas en el mundo*, de Laura Ruiz, 2017, uncomo (<https://www.mundodeportivo.com/uncomo/educacion/articulo/cuales-son-las-zonas-volcanicas-del-mundo-10130.html>).

### 1.1.3. Variables de Investigación

**a. Variables según su escala de medición.** La medición de estas variables es cualitativa.

#### **b. Variables según su relación o función:**

**b.1. Variables independientes.** Suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana – Tacna.

**b.2. Variables dependientes.** Evaluación del potencial de colapso.

### 1.2. Formulación del Problema

#### 1.2.1. Interrogante Principal

¿Cómo se relaciona las características de los suelos derivados de las cenizas volcánicas con la evaluación del potencial del colapso en el distrito de Calana?

### **1.2.2. Interrogantes Específicos**

– ¿Cuáles son las características físicas y químicas determinantes en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana?

– ¿Cuál es el potencial de colapso en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana?

### **1.3. Justificación e Importancia de la Investigación**

La presente investigación tiene lugar de estudio la ciudad de Tacna, y se desarrolla en el distrito de Calana. Este estudio busca prevenir que las construcciones futuras en la zona de estudio no presenten problemas a causa del colapso.

De esta manera este estudio es justificado por las siguientes razones:

- **En lo científico:** Es de importancia identificar y evaluar el potencial de colapso de la ceniza volcánica, ya que no hay un estudio que analice a grandes rasgos las características del suelo donde se realizaron los ensayos.
- **En lo Social:** La población de la ciudad, así como de la zona de estudio está en crecimiento constante, por lo cual la edificación de viviendas se ve incrementada de igual manera. Dicho incremento se refleja en viviendas que no tuvieron los estudios geotécnicos pertinentes previo a su construcción ignorando el peligro potencial de haber construido sobre un suelo colapsable como lo es la ceniza volcánica. Este estudio busca concientizar e informar a las personas de este lugar sobre los peligros que trae el construir sobre este tipo de suelo y así puedan tomar medidas necesarias para tener una construcción segura a futuro.
- **En lo Económico:** Las edificaciones construidas en este tipo de suelo son propensas a sufrir hundimiento que conlleva al asentamiento diferencial y distintos tipos de daños en la estructura como en los cimientos. Mediante este estudio se podrá mejorar en gran medida la calidad del suelo, evitando así daños en la edificación y por ende, posibles gastos en reparación y/o rehabilitación

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Determinar la relación de las características de los suelos derivados de las cenizas volcánicas con la evaluación del potencial del colapso en el distrito de Calana.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Establecer las características físicas y químicas determinantes en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana.
- Determinar el potencial de colapso en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General**

Las características de los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen una directa y fuerte relación con la evaluación del potencial de colapso en el distrito de Calana.

### **1.5.2. Hipótesis Específica**

- Los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana corresponden a arenas limosas con una concentración perjudicial de sales solubles.
- El potencial de colapso en los suelos derivados de cenizas volcánicas es de 1.51 %.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

El estudio realizado en el distrito de Gregorio Albarracín, Sector Viñani concluye lo siguiente: Las partículas que constituyen el conglomerado especial no sufren fuerzas de fricción ya que no existe un contacto directo entre estas, el comportamiento colapsable está influenciada por su matriz. (Condori, 2012).

En el estudio realizado en el distrito de Ciudad Nueva se concluye que: el suelo de la Asociación Agropecuaria Apaza tiene clasificación de Arena limosa (SM), es de color beige y contiene Ceniza volcánica, a su vez presenta un potencial de colapso de 1,89 %, siendo un problema considerado como moderado. (Mamani & Apaza, 2018).

En un estudio realizado en el distrito de Calana se concluye lo siguiente: el colapso del suelo de Piedra Blanca – Asoc. El Centinela para las muestras ensayadas son: Muestra 1 = 1,86 % y muestra 2 = 1,64 % las representan un colapso moderado. (Isidro & Cañi, 2017).

En el estudio realizado en el distrito de Ciudad Nueva se determinó que mediante el ensayo de corte directo del suelo en la institución educativa Cesar Augusto Cohaila Tamayo dio como resultado para el terreno natural una cohesión  $0,275 \text{ kg/cm}^2$  y un ángulo de fricción de  $22,3^\circ$ . (Flores & Rospigliosi, 2005)

En el estudio realizado en la ciudad de Tacna menciona que el tipo de suelo del Puesto de Salud Intiorko, del distrito de Ciudad Nueva, es una arena limosa (SM), que tiene como potencial de colapso del suelo determinado como moderado para una carga de  $1 \text{ kg/cm}^2$  (Flores A. , 2017).

En el estudio realizado en el distrito de Alto de la Alianza se concluye que : La ceniza volcánica que se encuentra en el distrito Alto de la Alianza es un suelo de colapso moderado (suelo no colapsable), donde los resultados de índice de colapso a una carga de  $0.50 \text{ kg/cm}^2$  ( $I_c$ ) es de 2,9 – 3,9 % y un índice de colapso a una carga de  $1,00 \text{ kg/cm}^2$  ( $I_c$ ) es de 3,5 – 5,2 %. (Cañi, 2020).

En el estudio realizado en el distrito de Ciudad Nueva se determinó que el potencial de colapso del suelo en la institución educativa Cesar Augusto Cohaila Tamayo se ve afectado de manera directa con el contenido de sales solubles, siendo

que a mayor contenido de sales solubles en un suelo mayor será el potencial de colapso de este. (Gonzales & Palacios, 2015)

En un estudio realizado en Colombia se concluye que: los suelos de ceniza volcánica tienen una gran capacidad de retención y esta es afectada por diferentes procesos, donde los minerales de arcilla se deshidratan de manera irreversible por desecación. Este efecto es el responsable de las variaciones en los límites de atterberg para estos suelos volcánicos. (Herrera, 2006).

En un estudio realizado en Venezuela se concluye que las causas principales que originan el colapso del suelo, según el autor son el aumento en el grado de saturación y la separación de los enlaces de las partículas de suelo. (Vielma, 2009).

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Granulometría**

Este ensayo determina cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de un determinado suelo. La clasificación de las partículas mayores de 75  $\mu\text{m}$  (retenido en el tamiz N°200) se efectúa por el tamizado, y la determinación de las partículas que son menores de 75  $\mu\text{m}$  se realiza con un proceso de sedimentación utilizando el densímetro. (Norma Técnica Peruana 339.128, 2014).

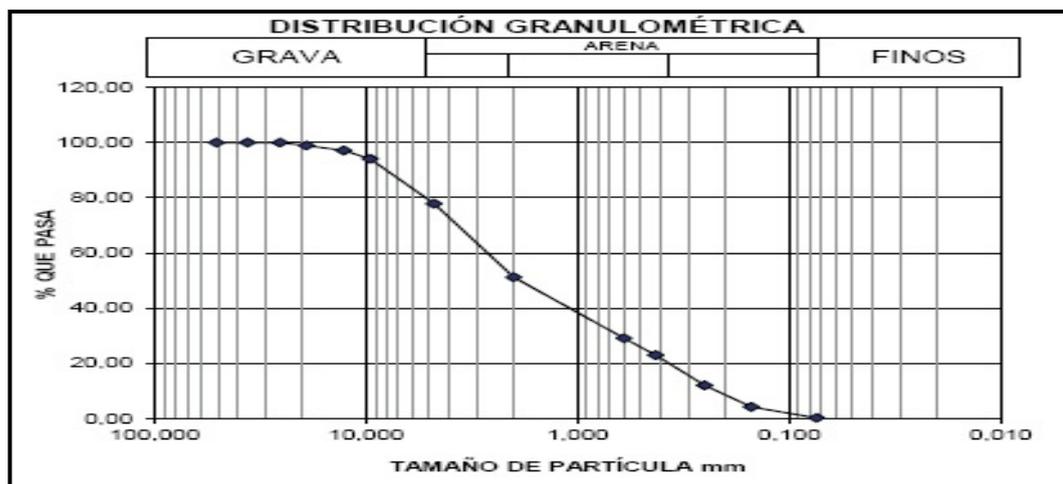
Como se muestra en la Tabla 1, para poder hallar la granulometría de un suelo, se nos presentan distintos tipos de tamices que varían de acuerdo al tamaño de la abertura de sus mallas, en donde obtendremos las cantidades retenidas y pasantes de acuerdo al tipo de suelo que se esté estudiando.

Cuando se termina el proceso de tamizado y se obtienen los porcentajes que pasan, estas cantidades son graficadas en lo que se conoce como la curva granulométrica como se muestra en la Figura 3.

**Tabla 1***Ensayo de granulometría – tamaño de malla*

Tamices	Abertura (mm)	Tamices	Abertura (mm)
3"	76,2	No.10	2
2 1/2"	63,5	No.16	1,19
2"	50,6	No.20	0,84
1 1/2"	38,1	No.30	0,59
1"	25,4	No.40	0,42
3/4"	19,05	No.50	0,3
1/2"	12,7	No.60	0,25
3/8"	9,525	No.80	0,177
1/4"	6,35	No.100	0,149
No.4	4,76	No.200	0,074
No.8	2,38		

*Nota.* En la tabla se muestra el tamaño de abertura en relación al número de tamiz. Esta tabla ha sido adaptada de Norma Técnica Peruana 339.128. (2014).

**Figura 3***Curva granulométrica*

### 2.2.2. Densidad In-situ

Mediante este ensayo se determina la densidad natural de depósitos de suelos, agregado u otros materiales con características similares y aplicándose a suelos que no posean una gran cantidad de roca o materiales que sean gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg. En este método se realiza una excavación en el suelo donde se mide el volumen del orificio excavado mediante la arena desplazada en el cono. (Norma Técnica Peruana 339.143, 2014).

Como podemos apreciar en la Figura 4, para poder realizar este ensayo se requieren diferentes implementos tanto específicos como básicos, así tenemos: el embudo, plato base, cuchara metálica, cincel, brocha y comba.

#### Figura 4

*Equipo para la densidad in-situ*



*Nota.* Adaptado de *Determinación de la densidad seca y la humedad de un suelo compactado*, IngenieríaReal.com(<https://ingenieriareal.com/como-realizar-ensayo-densidad-en-el-sitio-con-el-cono-de-arena/>).

Para poder determinar la densidad húmeda se divide la masa húmeda de la muestra extraída entre el volumen del hoyo u orificio. La densidad seca es calculada utilizando el peso húmedo de la muestra, el contenido de humedad y el volumen del hoyo. Para poder hallar las densidades tanto húmedas como secas se aplicarán las ecuaciones siguientes:

$$V = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_1} \quad (1)$$

$$M_4 = \frac{100 \cdot M_3}{(w + 100)} \quad (2)$$

$$\rho_m = \frac{M_3}{V} \quad (3)$$

$$\rho_d = \frac{M_4}{V} \quad (4)$$

Donde:

$M_1$ : masa de arena usada para llenar el orificio de prueba, embudo y plato base, en gr.

$M_2$ : masa de arena utilizada para llenar embudo y plato base, en gr.

$\rho_1$ : densidad del volumen de la arena, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .

$w$ : contenido de humedad del material extraído del orificio de prueba, en %.

$V$ : volumen del orificio de prueba, en  $\text{cm}^3$ .

$M_3$ : peso húmedo del material del orificio de prueba, en gr.

$M_4$ : peso seco del material del orificio de prueba, en gr.

$\rho_m$ : densidad húmeda del material probado, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .

$\rho_d$ : densidad seca del material probado, en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .

### **2.2.3. Contenido de Humedad**

Mediante este ensayo se determina la relación que existe entre el peso de agua en un peso determinado de suelo con respecto a la masa de las partículas sólidas, siendo este expresado en porcentaje. (Norma Técnica Peruana 339.127, 2014).

El cálculo del contenido de humedad de la muestra se realizó mediante las siguientes ecuaciones:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \cdot 100\% \quad (5)$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \cdot 100\% = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100 \quad (6)$$

Donde:

W: contenido de humedad, en %

$M_{cws}$ : peso de la tara más el suelo húmedo, en gr

$M_{cs}$ : peso de la tara más el suelo secado en horno, en gr

$M_c$ : peso de la tara, en gr

$M_w$ : peso del agua, en gr

$M_s$ : es el peso de las partículas sólidas, en gr

#### **2.2.4. Peso Específico de Finos**

Mediante este ensayo se determina la relación entre el peso en aire del volumen de un material, a una determinada temperatura y el peso en aire con un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura.

Los valores de peso específico de las partículas sólidas se determinan en agua 20 °C. (Norma Técnica Peruana 339.131, 1999)

$$G_s = \text{Peso específico } (T_x/T_x \text{ } ^\circ\text{C}) = \frac{M_o}{M_o + (M_a - M_b)} \quad (7)$$

Donde:

$G_s$ : peso específico de las partículas sólidas, en gr/cm<sup>3</sup>.

$M_o$ : masa de la muestra de suelo seco al horno, en gramos.

$M_a$ : masa de la fiola llena de agua a la temperatura  $T_x$ , en gramos.

$M_b$ : masa de la fiola llena de agua y suelo a la a la temperatura  $T_x$ , en gramos.

$T_x$ : temperatura de los contenidos de la fiola cuando se determinó la masa  $M_b$ , en °C.

Este valor se hallará a partir del valor determinado en agua a la temperatura

observada  $T_x$  de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$G_s = \text{Peso específico } (T/20^\circ\text{C}) = K. (\text{peso específico } T_x/T_x^\circ\text{C}) \quad (8)$$

Como se presenta en la Tabla 2, el valor de K será tomado de acuerdo a la temperatura en la que se trabaja.

**Tabla 2**

*Valores de factor de corrección*

Temperatura °C	Densidad relativa del agua (g/ml)	Factor de corrección K
18	0,9986244	1,0004
19	0,9984347	1,0002
20	0,9982343	1,0000
21	0,9980233	0,9998
22	0,9978019	0,9996
23	0,9975702	0,9993
24	0,9973286	0,9991
25	0,9970770	0,9988
26	0,9968156	0,9986
27	0,9965451	0,9983
28	0,9962652	0,9980
29	0,9959761	0,9977
30	0,9956780	0,9974

*Nota.* En la tabla se presenta los valores del factor de corrección k a determinadas temperaturas. Esta tabla ha sido adaptada de Norma Técnica Peruana 339.131 (1999).

### **2.2.5. Peso Unitario Mínimo y Máximo de Suelos**

Este ensayo determina los índices de densidad/peso unitario mínimo y máximo de los suelos no cohesivos y con propiedades drenantes. (Norma Técnica Peruana 339.138, 1999)

Índice de densidad máxima,  $\gamma_{d \text{ max}}$ ; la densidad seca por unidad de peso de un suelo en el estado más denso de compactación puede ser calculada utilizando procedimiento estándar de laboratorios que minimicen la segregación y rotura de

partículas como se presenta en la Figura 5.

Índice de densidad mínima,  $\gamma_{d \text{ min}}$ ; referencia de la densidad seca por unidad de peso de un suelo en el estado más suelto de compactación lo cual se puede determinar utilizando procedimientos conocidos de laboratorio que minimice la segregación de partículas.

### Figura 5

*Varillado de la muestra*



*Nota.* La figura presenta el proceso de compactación de la muestra mediante el varillado para poder determinar posteriormente la densidad máxima de esta. Tomado de: *Varillado a n/3 de la capacidad de los moldes*, de Laboratorio de Materiales de construcción, Universidad Centro Americana José Simón Cañas, (<https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/PESOS%20UNITARIOS%20Y%20%25%20VACIOS.pdf>)

### 2.2.6. Límite Líquido (LL)

Es el contenido de humedad que está expresado en porcentaje, donde el suelo se encuentra en el límite de los estados líquido y plástico. El contenido de humedad se refiere a cuando el surco que separa dos mitades de una determinada pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la cuchara 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo. (Norma Técnica Peruana 339.129, 2014).

Como podemos ver en la Figura 6, para hallar el límite líquido de un determinado suelo se usa la cuchara de casa grande, en donde se colocará la muestra saturada y se procederá a mover la manivela para determinar los golpes necesarios para juntar los bordes de la ranura previamente hecha.

**Figura 6**

*Equipo para ensayo de límite líquido*



*Nota.* La figura muestra el equipo para poder realizar el ensayo de límite líquido. Tomado de: *Conjunto para determinar el límite líquido, Geo Perú ingenieros* (<http://www.geoperuingenieros.com/laboratorio-de-suelos-concreto-asfalto-maquinas.html>).

### **2.2.7. Límite Plástico**

Es el contenido de humedad que está expresado en porcentaje, donde el suelo se encuentra en el límite de los estados plástico y semisólido. Para determinar el límite plástico enrolla y se presiona a un hilo de 3,2 mm. de diámetro, hasta el momento en que el hilo formado se separe y ya no pueda ser presionado o enrollado nuevamente. Para este instante el contenido de humedad del suelo se asigna como el límite plástico. (Norma Técnica Peruana 339.129, 2014).

### **2.2.8. Índice de Plasticidad**

El índice de plasticidad, se halla mediante la resta entre el límite líquido y el límite plástico, y está expresado en la siguiente ecuación:

$$I.P. = L.L. - L.P. \quad (9)$$

Donde

L.L.: Límite líquido

L.P.: Límite plástico

I.P.: Índice de plasticidad

El límite líquido y el límite plástico están expresados como números enteros. En caso no se pueda determinar uno de ellos, o en su defecto el límite plástico es igual o mayor al límite líquido, se considerará al suelo como no plástico, NP. (Norma Técnica Peruana 339.129, 2014).

Según su índice de plasticidad el suelo puede clasificarse de acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Clasificación de suelos según el Índice de Plasticidad*

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP>20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP≤20	Media	Suelos Arcillosos
IP>7		
IP<7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP=0	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcillas

*Nota.* Adaptada del Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos, Sección suelos y pavimentos” - Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013).

### **2.2.9. Sistema de Clasificación de Suelos (SUCS)**

Mediante este sistema se presentan tres clases de suelos: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos con contenido orgánico alto. A su vez estas clases son divididas en 15 grupos de suelo. (Norma técnica peruana 339.134, 2014).

En la Tabla 4 se puede apreciar los distintos grupos de suelos, que para facilitar la denominación de una muestra en laboratorio luego de su estudio, se le asignan los símbolos correspondientes a su descripción.

**Tabla 4**

*Símbolos de la clasificación SUCS*

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
G	Grava	Pt	Turba y suelos altamente orgánicos
S	Arena	H	Alta plasticidad
M	Limo	L	Baja plasticidad
C	Arcilla	W	Bien graduada
O	Limo orgánicos y arcillas	P	Mal graduada

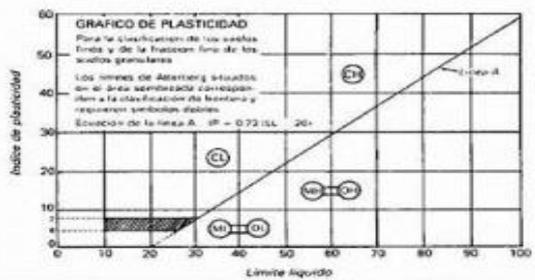
*Nota.* En la tabla se muestra los tipos de suelos y su simbología respectiva. Esta tabla ha sido adaptada de Norma técnica peruana 339.134(2014)

La Figura 7 muestra los parámetros para poder clasificar a un determinado suelo mediante la cantidad de material fino o grueso que este posea.

Figura 7

Tabla de clasificación de suelos

DIVISION PRINCIPAL	SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION			
SUELOS DE GRANOS GRUESOS 50% o más es retenido en el tamiz No. 200	GRAVAS 50% o más de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	GW	Gravas bien gradadas y mezclas de arena y grava con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Mayor que 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}}$ Entre 1 y 3 Si los criterios para GW no se cumplen Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7.		
		GP	Gravas y mezclas de gravas y arenas mal gradadas con pocos finos o sin finos			
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava - arena y limo			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena y arcilla			
	ARENAS Más del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	GRAVAS CON FINOS	SW	Arenas y arenas gravosas bien gradadas con pocos finos o sin finos	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Superior a 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}}$ Entre 1 y 3 Si no se cumplen los criterios para SW Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7.	
			SP	Arenas y arenas gravosas mal gradadas con pocos finos o sin finos		
		ARENAS LIMPAS	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
			LIMOS INORGÁNICOS, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas	ML		
				CL		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla
LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido superior a 50% o inferior a 50%	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad				
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido superior a 50%	MH	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos o de talco, limos elásticos			
Suelos altamente orgánicos		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas			
	OH	Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media				
PT	Turba, estiércol y otros suelos altamente orgánicos	Para la identificación visual y manual, véase ASTM norma D 2488				



Nota. Adaptado de: Tabla de clasificación SUCS, Scribd(<https://es.scribd.com/doc/57043507/Tabla-Clasificacion-Sucs-1>).

2.2.10. Análisis Químico en Suelos

Para determinar cuantitativamente los sulfatos solubles en suelos y agua subterránea se define un procedimiento para hallar el contenido de ión sulfato soluble en suelos y aguas subterráneas. Se considera dos métodos: El método gravimétrico (Método A) y el método turbidimétrico (Método B). El método A es una medida primaria del ión sulfato. Se puede aplicar directamente a muestras de suelo que contengan aproximadamente entre 20 mg/kg y 100 mg/kg. El método B ahorra tiempo, pero a diferencia del método A es más susceptible a interferencias. (Norma Técnica Peruana 339.178, 2002).

Para determinar el contenido de sales solubles en suelos se hace la preparación de un extracto acuoso para poder determinar el contenido de sales solubles en los suelos. El contenido total de sales solubles de un suelo se da mediante una relación suelo-agua de 1:5 para la mezcla. (Norma Técnica Peruana 339.152, 2002).

Para poder determinar la cantidad de cloruros solubles en suelos se precisa el procedimiento para la determinación del contenido de ion cloruro soluble en agua mediante el método volumétrico de Mohr. Mediante este método se pueden estudiar muestras con contenidos de cloruro de 10mg/kg a 150mg/kg. (Norma Técnica Peruana 339.177, 2002).

De acuerdo a los resultados que puedan obtenerse en estas pruebas, se puede hacer una clasificación como muestra la Tabla 5 en donde se hallará la severidad o grado de alteración a la cual está sometido el suelo en estudio.

**Tabla 5**

*Límites permisibles de agresividad del suelo al concreto*

Presencia en el suelo de:	P.P.M	Grado de Alteración	Consecuencia
*Sulfatos	0-1000	Leve	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación
	1000-2000	Moderado	
	2000-20 000	Severo	
	>20 000	Muy severo	
**Cloruros	>1 000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos.
**Sales Soluble totales	>1 500	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación

*Nota..* Esta tabla ha sido adaptada de \* Comité 318-83 ACI y \*\* Experiencia existente.

**2.2.11. Corte Directo**

Este ensayo se realiza tomando un espécimen y deformándolo a una velocidad controlada que sea próxima a un plano de corte simple, que se encuentra fijado por la configuración del equipo. Se ensayan un mínimo de tres especímenes, cada uno con una carga aplicada vertical diferente, para poder así hallar cuales son los efectos

en la resistencia al corte y desplazamiento.

El corte directo se usa para el hallazgo relativamente rápido de las propiedades de resistencia de materiales drenados y consolidados, ya que las trayectorias de drenaje a través de la muestra de suelo son cortas, es así que se permite que el exceso de la presión de poros sea disipado con mayor rapidez que con otras pruebas de esfuerzos drenados. Este ensayo se puede hacer en todos los materiales de suelo, y materiales inalterados, remoldeados, o compactados. (Norma Técnica Peruana 339.171, 1999).

Para este ensayo se necesita hallar el esfuerzo normal, así como el esfuerzo cortante, cuyos cálculos se detallan a continuación:

El esfuerzo de corte nominal que actúa sobre el espécimen es:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Donde:

$\tau$  : esfuerzo de corte nominal, en kg/cm<sup>2</sup> ó kPa

F : fuerza cortante, en kg ó N.

A : área inicial del espécimen, en cm<sup>2</sup> ó mm<sup>2</sup>.

El esfuerzo normal que actúa sobre el espécimen es:

$$\sigma_n = \frac{N}{A} \quad (11)$$

Donde:

$\sigma_n$ : esfuerzo de normal, en kg/cm<sup>2</sup> ó kPa.

N : fuerza normal vertical aplicada que actúa sobre el espécimen, en kg ó N.

Para hallar la cohesión se usará la siguiente ecuación:

$$\tau = C + \sigma_n \cdot \tan(\phi) \quad (12)$$

Donde:

C: cohesión del suelo en kg/cm<sup>2</sup> ó kPa.

$\phi$ : ángulo de fricción interna.

En la Figura 8 se muestra el equipo de corte directo, en donde una vez calibrado se procede a instalar el molde con las muestras previamente colocadas en su interior, donde se irá tomando las lecturas dadas por los diales de acuerdo a una determinada esfuerzo ejercido.

### Figura 8

*Equipo para realizar ensayo de corte directo*

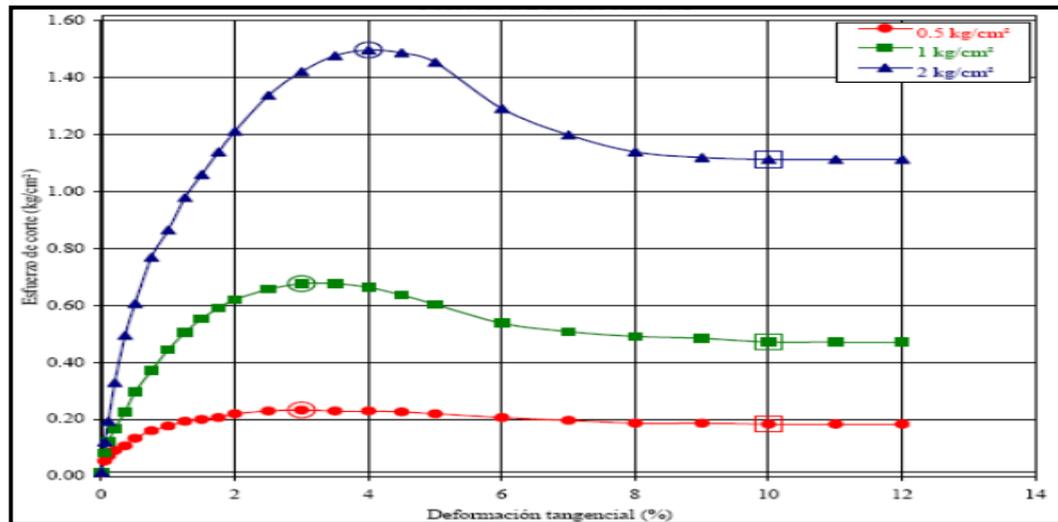


*Nota.* En la imagen se observa la colocación de la muestra en el equipo de corte directo

Una vez terminado el ensayo y con los datos de los esfuerzos cortantes, así como la deformación horizontal, se realizan las gráficas como muestra la Figura 33, en donde se comparan a los especímenes ensayados.

Figura 9

Gráfica de deformación horizontal para el ensayo de corte directo



Nota. Adaptado de *Gráfica de corte directo*, de J. Alva Hurtado, Dr. Jorge Elias Alva Hurtado Website, ([http://www.jorgealvahurtado.com/files/Ensayos\\_Resistencia\\_Cortante.pdf](http://www.jorgealvahurtado.com/files/Ensayos_Resistencia_Cortante.pdf)).

### 2.2.12. Características de los Suelos Colapsables

Los suelos colapsables tienen como característica el tener una pérdida abrupta de volumen del suelo donde se encuentran, que se denota en un importante hundimiento vertical superficial, que viene acompañada de una pérdida acelerada de resistencia así como un reordenamiento estructural interno del suelo, esto tiene lugar debido a que el suelo absorbe grandes cantidades de agua. Entre sus características más resaltantes se encuentran su estructura macro porosa, con índice de vacíos ( $e$ ), entre alto, a muy alto, lo que se infiere en una mayor probabilidad de que se produzca colapso. (Blanco y Santos, 2017, p. 13).

### 2.2.13. Tipos de suelos Colapsables

Se dan a conocer cuatro tipos principales de suelos colapsables (Normas Colombianas de diseño y construcción sísmo resistente, 1997):

- **Suelos aluviales y coluviales:** estos suelos son asentados en ambientes

semi-desérticos por flujos más o menos torrenciales, poseen en su gran mayoría una estructura inestable (suelos metastables)

- **Suelos eólicos:** estos suelos son depositados por acción del viento, se caracterizan por ser arenas y limos arenosos que poseen muy poco cemento arcilloso en una estructura suelta o inestable.
- **Cenizas volcánicas:** se derivan de cenizas expulsadas al aire por actividad volcánica reciente, conforman planicies de suelos limosos y limo-arcillosos con características metastables.
- **Suelos residuales:** se derivan de la descomposición de minerales in situ de ciertas rocas, luego son lixiviados por acción del agua donde pierden su cementación por lo cual también acaban con una estructura inestable.

#### **2.2.14. Método de Ensayo de Colapso**

En este método se coloca una muestra de suelo con su contenido natural de humedad inalterado en un consolidómetro, y se aplica un esfuerzo normal o vertical a la muestra saturándola, para provocar el colapso en el suelo y así poder obtener cuantitativamente nuestro potencial de colapso en la muestra de suelo. (Norma Técnica Peruana 339.163, 2015).

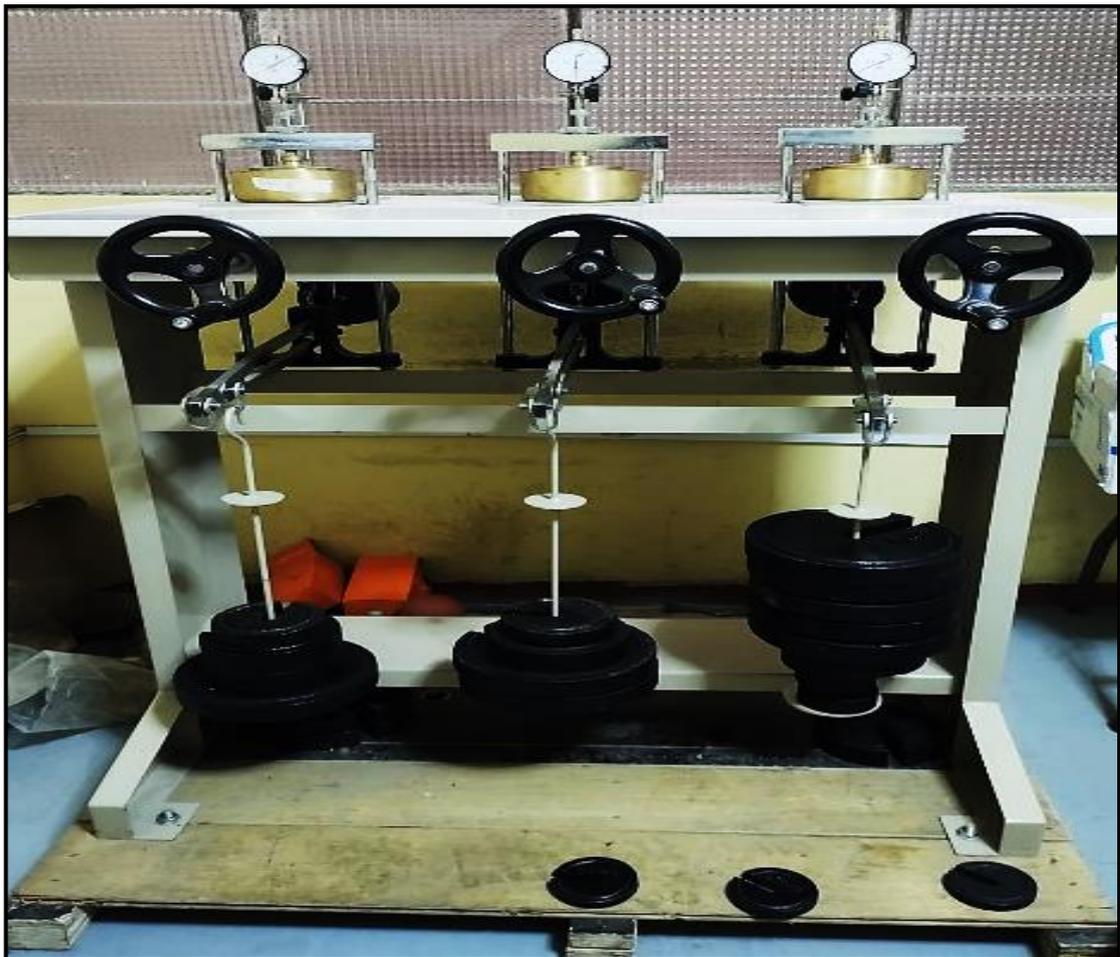
Existe un método llamado como de doble odómetro, en este se hace el ensayo de la muestra con la humedad natural y otro en estado saturado. Cuando se compara las dos curvas de compresibilidad, la diferencia en la relación de vacíos de entre ambas curvas para una misma magnitud de presión representa el colapso del suelo en análisis. Así pues, para el análisis de un suelo es necesario conocer su contenido de humedad, peso específico, relación de vacíos, límite líquido, límite plástico, granulometría combinada, succión mátrica, succión osmótica, curva de compresibilidad, curva de resistencia y pruebas de carga, respectivamente. (Gallegos & Escalera, 2014, p. 86).

Este método de ensayo se debe aplicar en aquellas zonas donde se tenga conocimiento de presencia de suelos colapsables o donde ya haya evidencia de haber ocurrido este fenómeno, esto con el objetivo de analizar el potencial de colapso del suelo de dicha zona teniendo como referencia tanto el límite líquido así como el peso volumétrico. (Norma Técnica E.050, 2018).

Para poder aplicar este método se requiere del equipo de colapso como se muestra en la Figura 10, mediante el cual tomando nota de las cantidades mostradas en los diales, podremos obtener nuestras relaciones de vacíos aplicando cargas determinadas.

### Figura 10

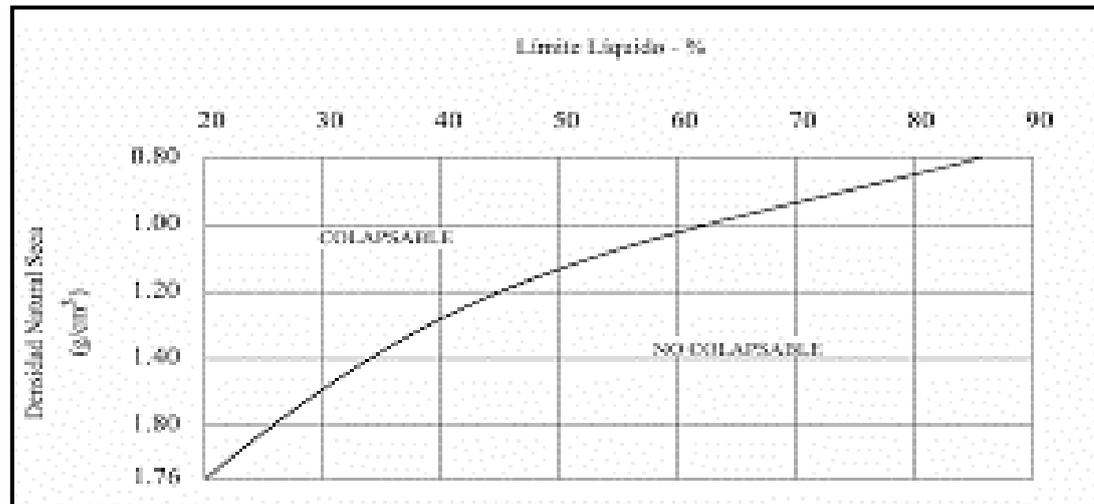
*Equipo para el ensayo de colapso*



Previo a la determinación cuantitativa del colapso propiamente dicho, según la norma E-050, se debe hacer un análisis respecto al límite líquido y la densidad seca del suelo en estudio. Como muestra la Figura 11, para este análisis se presentan los rangos de colapsable y no colapsable, que según sea el caso, la muestra ensayada se definirá dentro de uno de ellos.

Figura 11

*Criterios para el potencial de colapso*



*Nota.* Adaptado de *Criterios de potencial de colapso* (p.47), por Reglamento Nacional de edificaciones, 2018, Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones.

Para poder hallar el índice de colapso se aplica la siguiente ecuación:

$$I_c(\%) = \frac{\Delta_e}{1+e_0} \quad (13)$$

Donde:

$I_c$ : Índice de colapso, en %.

$\Delta_e$  : Cambio en la relación de vacíos debido al colapso por humedecimiento.

$e_0$ : Relación de vacíos inicial.

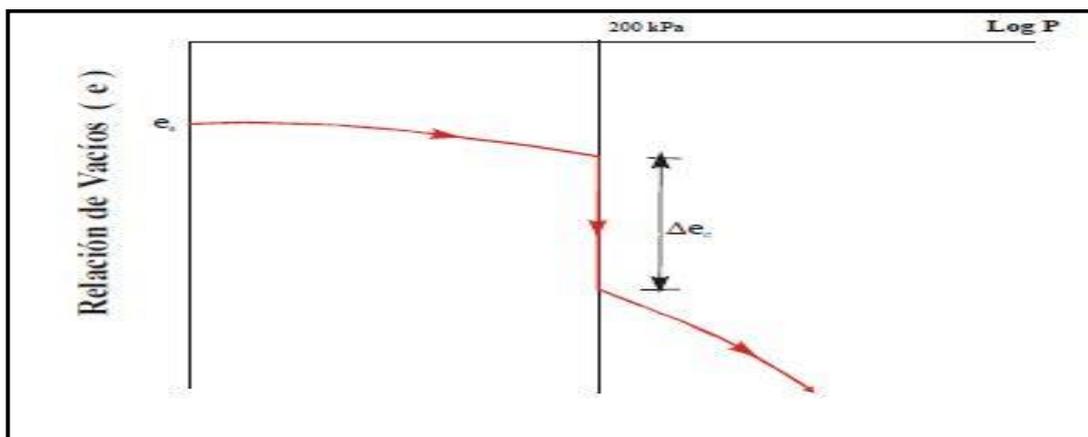
Para poder determinar la severidad del colapso con los cálculos realizados, se verifica en la Tabla 6 cual es el grado de colapso en función al índice de colapso hallado. Esto nos indicará finalmente si el suelo en estudio necesitará ser o no tratado.

**Tabla 6***Clasificación del Índice de colapso*

Clasificación del Índice de Colapso $I_c$	
Grado de Colapso	Índice de Colapso
Ninguno	0
Leve	0,1 a 2,0
Moderado	2,1 a 6,0
Moderadamente Severo	6,1 a 10,00
Severo	> 10

*Nota.* Adaptada de Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones” del R.N.E, capítulo VI Problemas especiales de Cimentación.

La relación de vacíos es un dato fundamental para poder hallar el grado de colapso de un determinado suelo. En la Figura 12 se puede apreciar la diferencia de la relación de vacíos en el proceso del ensayo de colapso comparado con una determinada carga aplicada.

**Figura 12***Gráfica de ensayo de colapso*

*Nota.* Adaptado de *Representación gráfica del ensayo de colapso*, de Geosuport, 2013, Geosuport-estudios geotécnicos (<http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/suelos-colapsables/>).

## **2.3. Definición de Términos**

### **2.3.1. Mecánica de Suelos**

La mecánica de suelos se puede definir como un conjunto de exploraciones de campo, que consiste en realizar ensayos de laboratorio así como análisis en gabinete, que tiene por objetivo primordial el estudio del comportamiento de los suelos. (Ministerio de Vivienda Construcción y saneamiento [MVCS], 2018).

### **2.3.2. Contenido de Humedad**

Es la cantidad de agua que presenta una masa de suelo, expresada en porcentaje. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2016).

### **2.3.3. Densidad In-situ**

Mediante este ensayo se determina la densidad natural de los depósitos de suelos, agregados, y materiales similares. Este ensayo se aplica a suelos con ausencia de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg (38 mm). (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2016).

### **2.3.4. Muestra Inalteradas**

Estas muestras son un tipo de espécimen que es extraído del suelo para realizar los ensayos especiales requeridos, siendo una característica de este espécimen que sus propiedades físicas y mecánicas del suelo no sufren cambios en su estado natural cuando se realiza la extracción debido a que son preservadas inmediatamente. (Norma Técnica Peruana 339.151, 2015).

### **2.3.5. Suelo Colapsable**

Son suelos que cuando se humedecen presentan un asentamiento relativamente rápido, lo cual conlleva al riesgo a las diferentes estructuras que se encuentran encima de ellos. (Ministerio de Vivienda Construcción y saneamiento [MVCS], 2018)

### **2.3.6. Ceniza Volcánica**

La ceniza volcánica es un polvo que se encuentra suelto de color beige o rosado conteniendo fragmentos de pómez blanca. Estos depósitos no presentan estratificación y están dadas como una masa homogénea sin estructura, sin embargo, a una determinada distancia bajo la superficie, el depósito se presenta más compacto y con una textura de un tufo muestra. (Wilson & Garcia, 1962, p. 50).

### **2.3.7. Índice de Colapso**

Magnitud relativa del colapso determinando para una presión 200kPa y calculado con ecuaciones. (Norma Técnica Peruana 339.163, 2015).

### **2.3.8. Potencial de Colapso**

Magnitud relativa del colapso del suelo determinando para una determinada presión vertical. (Norma Técnica Peruana 339.163, 2015).

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Tipo y Nivel de la Investigación

#### 3.1.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es básica ya que a partir de los problemas que se derivan de construir sobre un suelo colapsable y haciendo la evaluación respectiva de este, se aportarán nuevos conocimientos para poder brindar una mejora en la calidad del suelo.

#### 3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de esta investigación es correlacional ya que mediante procedimientos investigativos se pretende medir la relación que existe entre las variables de la investigación, es decir, entre suelos derivados de cenizas volcánicas y la evaluación del potencial de colapso en el distrito de Calana, Tacna 2021.

### 3.2. Población y/o Muestra de Estudio

#### a. Población

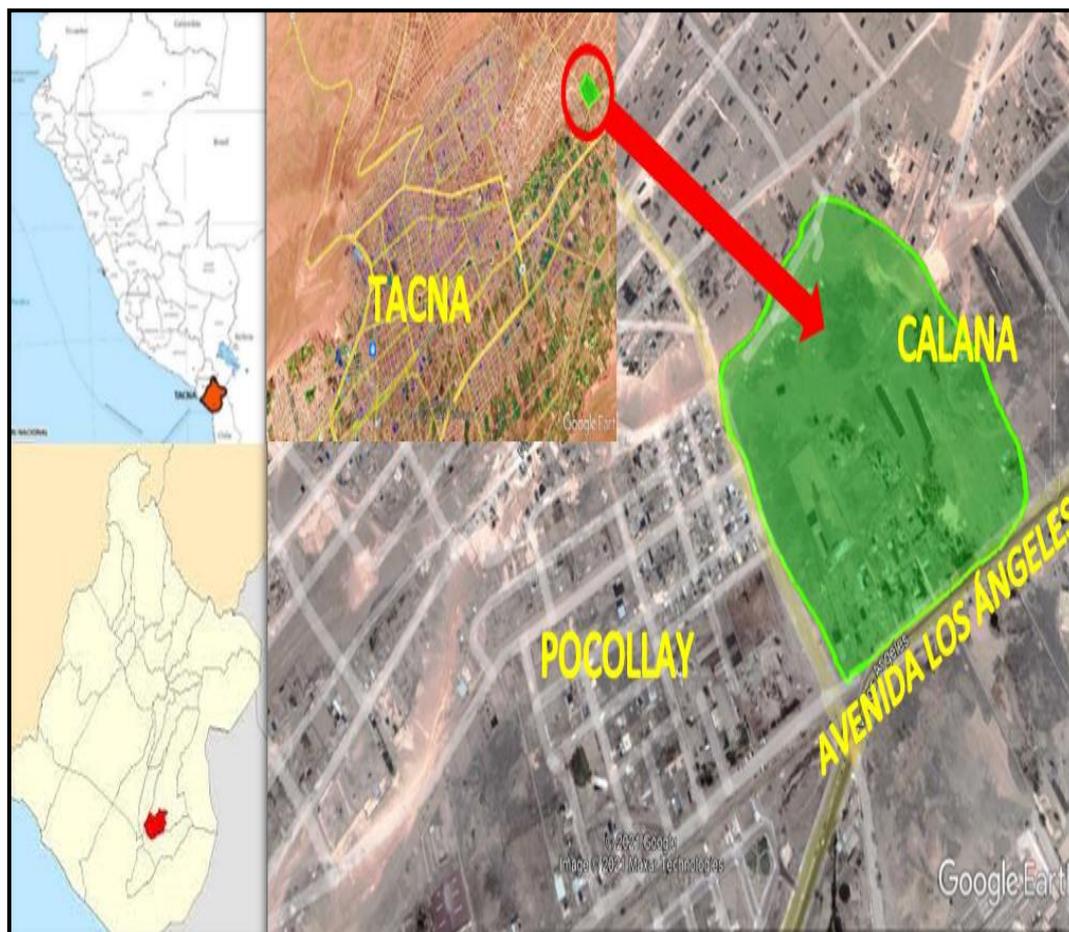
La zona a analizar fue la Asociación Los Ángeles de Vilauta y alrededores en el distrito de Calana, provincia y departamento de Tacna como se muestra en la Figura 13, para lo cual se obtendrán muestras de 05 puntos mediante la excavación de calicatas.

#### b. Muestra

Para determinar el número total de muestra de estudio, se procesó en relación a las normas establecidas y se consideró que al realizar el muestreo habrá variación de cantidad, peso y volumen.

**Figura 13**

*Ubicación de la zona del estudio*



*Nota.* La figura presenta la ubicación en la cual se focaliza el estudio, siendo en la Asociación Ángeles de Vilauta y alrededores del distrito de Calana, perteneciente a la provincia y departamento de Tacna. Adaptado de Google earth.

### **3.3. Operacionalización de Variables**

En la Tabla 7 se pueden apreciar las variables que se contemplaron para esta investigación.

Tabla 7

Cuadro de operacionalización de variables

Tipo de variable	Nombre de Variable	Definición Operacional	Indicador	Unidades
Variable Independiente	Suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana	Lo suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana son suelos residuales de material piroplástico cuya característica principal es que son colapsables debido a que cambia abruptamente de volumen en presencia de humedad o al saturarse	características físicas y química de la ceniza volcánica » granulometría » límites de atterberg » densidad insitu » clasificación sucs » sales solubles, sulfatos y cloruros	gr Porcentaje gr/cm <sup>3</sup> adimensional ppm
Variable Dependiente	Evaluación del potencial de colapso	Su finalidad es determinar la susceptibilidad al colapso de un suelo a causa del sometimiento de esfuerzos verticales en una atmosfera inundada	índice de colapso » ninguno » leve » moderado » moderadamente severo » severo índice de colapso	Porcentaje

### 3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

#### 3.4.1. Recopilación de Datos:

El presente estudio inicia con una revisión detallada de información concerniente a los estudios realizados, tanto de fuentes virtuales, como fuentes escritas. Se realizaron visitas a campo para poder interactuar con las personas que viven en el lugar y explicarles la razón de la visita.

Así también, la investigación estuvo constituida por la excavación de 05 calicatas ubicadas en diferentes puntos dentro de la zona de exploración en el distrito

de Calana, donde cada una de estas cuentan con un perfil estratigráfico. Así mismo dentro de los ensayos realizados se hicieron tanto los ensayos estándares para determinar las características físicas y químicas, así como los ensayos especiales para determinar el potencial de colapso de los suelos derivados de cenizas volcánicas.

Para el presente estudio se tiene como antecedente investigaciones similares previamente realizadas cuya información se obtuvo de los diferentes repositorios tanto de instituciones privadas y públicas, así mismo se tiene como guía las normas técnicas peruanas y el reglamento nacional de edificaciones.

### **3.4.2. Puntos Tomados para la Excavación de Calicatas**

Los puntos considerados en la excavación de calicatas y toma de muestras alcanzaron una profundidad máxima de 3,00 m, en donde se halló ceniza volcánica que fue clasificada como una Arena limosa (SM), cuya determinación se dio a partir de los ensayos de laboratorio realizados.

En la Figura 14 se muestra uno de los puntos donde se hizo la excavación de las calicatas.

**Figura 14**

*Zona de estudio*



Mediante el google earth se pudo obtener las coordenadas UTM de cada calicata, mostradas en la Tabla 8 , y de la misma manera se obtuvo una vista satelital representada en la Figura 15 que muestra la posición de cada calicata en la zona de la investigación.

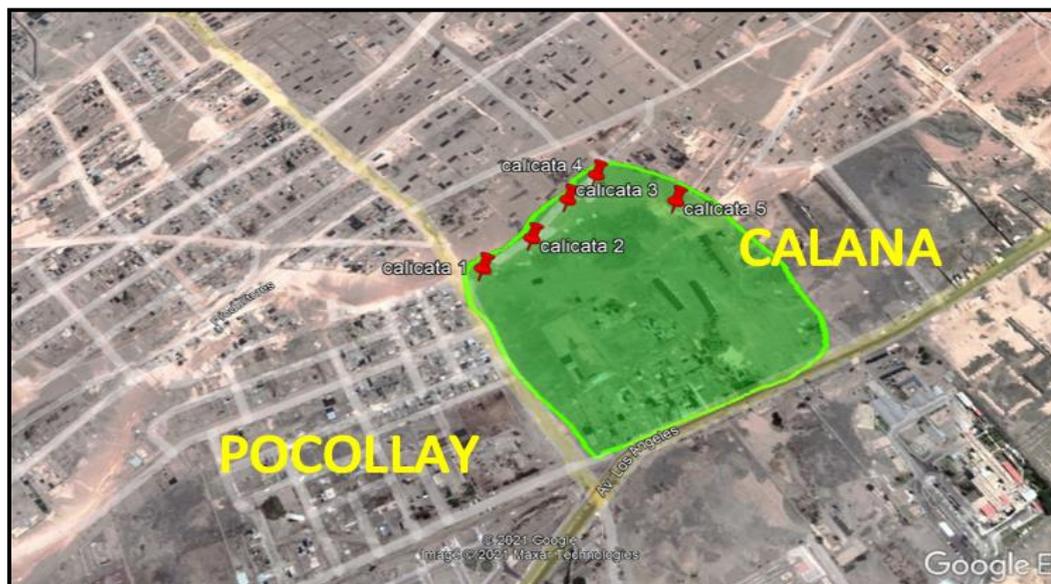
**Tabla 8**

*Coordenadas de las calicatas para la toma de muestras.*

Calicatas	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
C-1	371908	8011889
C-2	371967	8011950
C-3	372008	8012024
C-4	372043	8012077
C-5	372159	8012040

**Figura 15**

*Ubicación de la las calicatas.*



*Nota.* La figura presenta la ubicación en la cual se excavaron las calicatas de donde se extrajo las muestras para su posterior uso en los ensayos de laboratorio. Adaptado de: Google earth.

La excavación de las calicatas se realizó mediante maquinaria pesada como muestra la Figura 16, para poder agilizar la aplicación del ensayo de densidad in-situ, así como el muestreo de material para la ejecución de los demás ensayos.

**Figura 16**

*Excavación de las calicatas mediante maquinaria pesada.*



Cada calicata fue descrita específicamente con el nombre del proyecto, así como también la fecha de ejecución de la excavación, tal como muestra la Figura 17.

**Figura 17**

*Descripción de calicata*



Una vez obtenidas las muestras necesarias se procedió a realizar el tapado de las calicatas con material propio y extraído de las mismas excavaciones.

### **3.4.3. Nivel Freático**

En las exploraciones de las calicatas no se evidenció presencia de nivel freático en toda la altura de excavación.

### **3.4.4. Muestreo del Material y Procedimiento en Laboratorio**

#### **a. Densidad In-situ**

Una vez excavadas las calicatas se procedió a realizar el ensayo de densidad in-situ en cada una de ellas, así como se muestra en la Figura 18, utilizando para esto el equipo respectivo de cono de arena, donde se pudo determinar la densidad natural del suelo en cada punto de exploración. La muestra obtenida de este ensayo se usó para poder hallar el contenido de humedad.

### **Figura 18**

*Excavación de orificio para el ensayo de densidad in situ*





**Figura 20**

*Muestras para el contenido de humedad*



*Nota.* La figura presenta las muestras para el ensayo, en donde por cada calicata se ensayarán 02 muestras.

### **c. Peso Específico de Finos**

Para poder hallar el peso específico de finos se coloca las muestras que fueron obtenidas de la pasante por la malla N°4 en un par de fiolas, evitando que haya pérdidas en caso su masa haya sido determinada. Posteriormente se llena con agua destilada hasta las 3/4 partes de la capacidad de la fiola y ambas muestras son llevadas a calentarse en baño maría por un periodo aproximado de 10 minutos como se muestra en la Figura 21. Para ayudar a la eliminación del aire de las muestras se fue girando las fiolas cada cierto tiempo. Acabado el baño maría se hizo el pesaje respectivo de las fiolas con muestras, en donde se obtuvo el volumen desplazado por diferencia de pesos. Con este volumen desplazado se procedió finalmente a calcular la gravedad específica o peso específico de las partículas sólidas.

**Figura 21**

*Muestras a ser calentadas en baño maría.*



#### **d. Peso Unitario Mínimo y Máximo se Suelos**

Para poder determinar nuestras densidades máximas y mínimas se pesaron 3 muestras sueltas y posteriormente se compactaron y pesaron 3 muestras mediante varillado como muestra la Figura 22 , esto para cada una de las calicatas. Una vez obtenidos los pesos tanto sueltos como varillados, se procede a calcular los pesos unitarios que se obtienen del promedio de las 3 muestras ya mencionadas.

**Figura 22**

*Varillado de muestra*



#### **e. Análisis Granulométrico**

Para poder realizar el análisis granulométrico a estos suelos es conveniente lavar las muestras como se presenta en la Figura 23 , esto debido a que se observó que en las muestras existen grumos que dificultan el tamizado. Para lavar estas muestras se usó el tamiz de malla 200, posteriormente al lavado, las muestras se llevaron al horno donde fueron secadas por un día completo y una vez secas se procedió con el tamizado.

**Figura 23**

*Lavado de muestra*



*Nota.* La figura presenta el lavado de muestra de una de las calicatas que serán posteriormente secadas al horno y finalmente tamizadas.

**f. Clasificación de Suelos S.U.C.S.**

Para este ensayo se necesitó los porcentajes que pasan tanto de la malla N° 200 como de la malla N°4, obtenidos del ensayo de granulometría, este método es de aplicación cualitativa y nos ayudó a obtener la clasificación final del suelo en estudio.

Para los ensayos especiales se requirió la extracción de muestras inalteradas de los puntos de exploración debido a que las propiedades físicas y mecánicas del suelo a que se deben mantenerse inalteradas en su estado natural al momento de realizar el muestreo, para lo cual se obtuvo un bloque de muestra tallándolo cuidadosamente del fondo de la calicata y preservándolo inmediatamente después de extraído para su posterior transporte a laboratorio, así como se muestra en la Figura 24.

**Figura 24**

*Muestras inalteradas*



**g. Corte Directo**

Mediante este ensayo se determinó la resistencia al corte de las muestras del suelo en estudio, sometidos a fatiga y/o esfuerzos, que simularon las ya existentes en el propio terreno a causa de la aplicación de cargas determinadas. Para el ensayo se trabajó con 3 especímenes por calicata para los 5 puntos de estudio, en donde se tomó lectura tanto de las fuerzas aplicadas como las deformaciones, así como muestra la Figura 25. Con estas lecturas se pudo hallar finalmente los esfuerzos cortantes que fueron los resultados determinantes para poder hallar la cohesión y ángulo de fricción para cada punto de estudio.

**Figura 25**

*Toma de lecturas de deformaciones y fuerzas.*



#### **h. Colapso**

La aparición del colapso ocurre cuando los suelos que no están saturados son hidratados en gran cantidad. En el laboratorio se colocó el espécimen en el aparato, habiendo determinado preliminarmente la altura y masa inicial, después de haberse tallado. Se colocó en el equipo el molde con la muestra o espécimen, así como también las piedras porosas que fueron secadas al aire previamente. Inmediatamente después se envolvieron tanto el espécimen con el molde al igual que las piedras porosas, lo más rápido posible, usando una protección adecuada, impidiendo así cambios significativos tanto en el contenido de humedad y el volumen de la muestra debido a la pérdida de agua por evaporación. Luego alistar la muestra y molde en el equipo se le dió una presión de asentamiento como mínimo de unos, 5 kPa. En los 5 minutos siguientes de haber aplicado la carga se aplicaron también incrementos de carga con intervalos de una hora hasta el momento de llegar al valor de esfuerzo normal o vertical de donde se quiso medir el colapso. Con los incrementos de carga antes mencionados se midieron y anotaron las deformaciones antes de que se aplique cada uno de ellos. Antes de haber

procedido con la saturación los intervalos de tiempo se limitaron a una hora para así impedir que exista demasiada evaporación de la humedad que pudiera provocar resultados no deseados. Posteriormente se inundó el molde con la muestra una hora después de haber aplicado el esfuerzo vertical apropiado y luego haber registrado la lectura del dial de deformación di tal como muestra la Figura 26. Se anotaron las lecturas de deformación axial contra tiempo a un aproximado de, 0,1, 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos y 1, 2, 4, 8 y 24 horas luego de haber adicionado el fluido, para así poder observar el comportamiento de la curva que se obtiene al graficar estas dos variables y poder determinar el equilibrio del proceso estudiado. Se esperó hasta que haya un equilibrio en el proceso de colapso, o por lo menos un tiempo de 24 horas, donde se anotó la lectura de los diales siendo esta la lectura  $df$ .

**Figura 26**

*Toma de lecturas de deformaciones*



*Nota.* Adaptado de Laboratorio Hi Geoproject.

### **3.4.5. Parámetros Importantes de la Investigación**

Evaluar las características del suelo del distrito de Calana para poder realizar un análisis objetivo sobre la situación en la que se encuentra y los peligros latentes que se puedan presentar.

Proponer una adecuada solución a la problemática de suelos colapsables como lo es la ceniza volcánica y así mejorar la calidad del suelo de la zona en estudio.

### **3.5. Procesamiento y Análisis de Datos**

Mediante los ensayos realizados se obtuvo los datos necesarios para así poder procesar los requerimientos de este estudio. Usando formatos en Excel se procedió a hacer los cálculos respectivos tanto para los ensayos estándar como para los ensayos especiales, en donde se obtuvo los valores requeridos tanto numérica y gráficamente, que fueron contrastados con las normas correspondientes.

Posterior a esto y sabiendo los parámetros a evaluar, se determinaron tanto las características físicas y químicas del suelo estudiado, así como el comportamiento de dicho suelo al ser sometido a diferentes cargas, simulando las condiciones naturales en las que se encuentra.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Ensayos Estándar

#### 4.1.1. Contenido de Humedad

Para la determinación del contenido de humedad se tomó como referencia la norma NTP 333.127. Una vez extraída la muestra de los puntos de exploración, esta fue llevada al laboratorio siendo ensayada unas horas después de su obtención. Los resultados obtenidos para este ensayo se muestran en la Tabla 9 y son expresados en porcentajes.

**Tabla 9**

*Resultados de los ensayos de contenido de humedad*

Calicatas	Contenido de Humedad (%)
C-1	5,32
C-2	4,42
C-3	4,72
C-4	5,33
C-5	5,53

#### 4.1.2. Densidad In-situ

Se realizaron los ensayos de Densidad in situ para cada punto de exploración en la zona de estudio. Mediante este ensayo se pudo obtener las densidades húmedas y secas para cada calicata así como se presenta en la Tabla 10.

**Tabla 10***Resultados del ensayo de Densidad in-situ.*

Calicatas	Densidades in-situ	
	Densidad Húmeda	Densidad Seca
	(gr/cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )
C-1	1,536	1,458
C-2	1,593	1,525
C-3	1,564	1,494
C-4	1,515	1,438
C-5	1,587	1,504

**4.1.3. Límites de Atterberg**

Para poder obtener el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP) se tomó como referencia la NTP 339.129.

Para el presente estudio no se pudo realizar el ensayo de plasticidad por tratarse de suelos granulares de consistencia no plástica (N.P.) con bajo contenido de finos.

**4.1.4. Peso Específico de Finos**

Este ensayo tiene como referencia la NTP 339.131. En este ensayo se determinó el volumen desplazado mediante la eliminación de aire de las muestras, en donde después de realizar las diferencias de pesos correspondientes y haciendo los cálculos respectivos, se obtuvieron los pesos específicos como se señala en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Resultados del ensayo de Peso específico de finos.*

Calicatas	Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )
C-1	2,477
C-2	2,474
C-3	2,452
C-4	2,508
C-5	2,468

#### **4.1.5. Peso Unitario Mínimo y Máximo de Suelos**

Este ensayo tiene como referencia la NTP 339.137 y la NTP 339.138. Como se muestra en la Tabla 12, para cada una de las calicatas se obtuvieron las densidades máximas y mínimas, que fueron obtenidas del promedio de las densidades de 3 muestras para cada caso.

**Tabla 12**

*Resultados del ensayo de densidad máxima y densidad mínima*

Calicatas	Densidades Mínimas y Máximas	
	$\gamma_d$ max (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ min (gr/cm <sup>3</sup> )
C-1	1,807	1,453
C-2	1,803	1,430
C-3	1,843	1,467
C-4	1,812	1,487
C-5	1,810	1,526

#### 4.1.6. Análisis Granulométrico

Mediante este ensayo se determinó de forma cuantitativa la distribución de tamaños de las partículas del suelo, que se obtuvo mediante el uso de tamices, así como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Resultado del análisis granulométrico*

Calicatas		C - 1	C - 2	C - 3	C - 4	C - 5
Tamiz	mm.					
3"	76,2	-	-	-	-	-
2 1/2"	63,5	-	-	-	-	-
2"	50,6	-	-	-	-	-
1 1/2"	38,1	-	-	-	-	-
1"	25,4	-	-	-	-	-
3/4"	19,05	-	-	-	-	-
1/2"	12,7	-	-	-	-	-
3/8"	9,525	100	100	100	100	100
Nº 4	4,76	98,89	98,68	99,47	97,62	98,96
Nº 10	2	97,40	96,96	96,94	94,54	96,66
Nº 20	0,84	85,20	85,03	85,15	82,50	82,52
Nº 40	0,59	75,26	74,94	74,9	72,19	74,16
Nº 60	0,42	62,56	61,79	62,06	60,42	66,37
Nº 80	0,3	57,87	57,17	54,68	52,09	56,20
Nº 100	0,149	38,40	38,34	39,48	39,83	43,19
Nº 200	0,074	25,07	25,46	26,42	25,82	27,05

#### 4.1.7. Clasificación de Suelos S.U.C.S.

Para realizar la clasificación de suelos S.U.C.S. se tuvo como referencia la Norma Técnica Peruana 339.134. Como se aprecia en la Tabla 14, se determinó mediante los datos obtenidos en la granulometría, que las muestras en todos los puntos de exploración fueron clasificadas como una arena limosa (SM).

Para la estratigrafía del primer punto de exploración se tiene que en toda su altura presenta una misma estratificación tal como muestra la Tabla 15, teniendo las demás calicatas esta misma característica.

**Tabla 14***Clasificación de los suelos de estudio*

Calicatas	Cu (Coeficiente de curvatura)	Cc (Coeficiente de uniformidad)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (% que pasa malla 200)	Clasificación
C-1	-	-	1,11	73,82	25,07	SM
C-2	-	-	1,31	73,23	25,46	SM
C-3	-	-	0,52	73,06	26,42	SM
C-4	-	-	2,38	71,80	25,82	SM
C-5	-	-	1,03	71,92	27,05	SM

*Nota.* La tabla presenta datos obtenidos de la granulometría que fueron usados para determinar la clasificación del suelo en estudio.

**Tabla 15***Estratigrafía del suelo en estudio*

Profundidad	Nº de Calicata y Estrato	Símbolo	Clasificación	Descripción	Fotografía
0.20	Calicata 1 Estrato 1	0 0 0 0 0 0 0	SM	En toda la profundidad de excavación se encontró el mismo estrato que es clasificado como arena limosa SM, de un color beige y piedras angulosas negras	
0.40		0 0 0 0 0 0 0			
0.60		0 0 0 0 0 0 0			
0.80		0 0 0 0 0 0 0			
1.00		0 0 0 0 0 0 0			
1.20		0 0 0 0 0 0 0			
1.40		0 0 0 0 0 0 0			
1.60		0 0 0 0 0 0 0			
1.80		0 0 0 0 0 0 0			
2.00		0 0 0 0 0 0 0			
2.20		0 0 0 0 0 0 0			
2.40		0 0 0 0 0 0 0			
2.60	0 0 0 0 0 0 0				
2.80	0 0 0 0 0 0 0				
3.00	0 0 0 0 0 0 0				

#### 4.1.8. Análisis Químico

En la Tabla 16 se presentan las concentraciones del análisis de las sales solubles, sulfatos solubles y cloruros solubles en el suelo, para lo cual se usaron las normas técnicas peruanas 339.152, 339.178 y 339.177 respectivamente.

**Tabla 16**

*Resultado del análisis químico*

Calicatas	Sales Solubles Totales en Suelos		Sulfatos Solubles en Suelos		Cloruros Solubles en Suelos	
	%	P.P.M	%	P.P.M	%	P.P.M
C-1	0,4121	4121,2	0,1925	1925,4	0,1743	1743,1
C-2	0,3863	3863,3	0,1481	1481,3	0,1323	1323,2
C-3	0,3956	3956,4	0,1845	1844,5	0,1593	1592,9
C-4	0,4026	4026,4	0,1864	1863,9	0,1668	1668,1
C-5	0,3642	3641,5	0,1813	1812,6	0,1738	1737,8

## 4.2. Ensayos Especiales

### 4.2.1. Corte Directo

Para este ensayo se determinaron los esfuerzos normales, los esfuerzos cortantes y esfuerzos residuales, como se muestra en la Tabla 17 . De las lecturas obtenidas, el esfuerzo cortante está dado como el esfuerzo máximo y el esfuerzo residual viene a ser el esfuerzo final. Así mismo el esfuerzo normal está dado por la división de la carga normal total entre el área que ocupa la muestra.

**Tabla 17**

*Esfuerzos obtenidos de los 3 especímenes en la calicata 1*

Espécimen Calicata 01	Esfuerzo Normal (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Residual (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0,514	0,398	0,346
2	1,014	0,586	0,518
3	1,514	0,818	0,741

Mediante la intersección de los valores del esfuerzo normal con el esfuerzo cortante y el esfuerzo residual se obtuvieron dos rectas representativas como se presentan en la Figura 27 y en la Figura 28, de las cuales se pueden obtener gráficamente los ángulos de fricción máximos y residuales respectivamente.

**Figura 27**

*Esfuerzo normal vs. esfuerzo cortante*

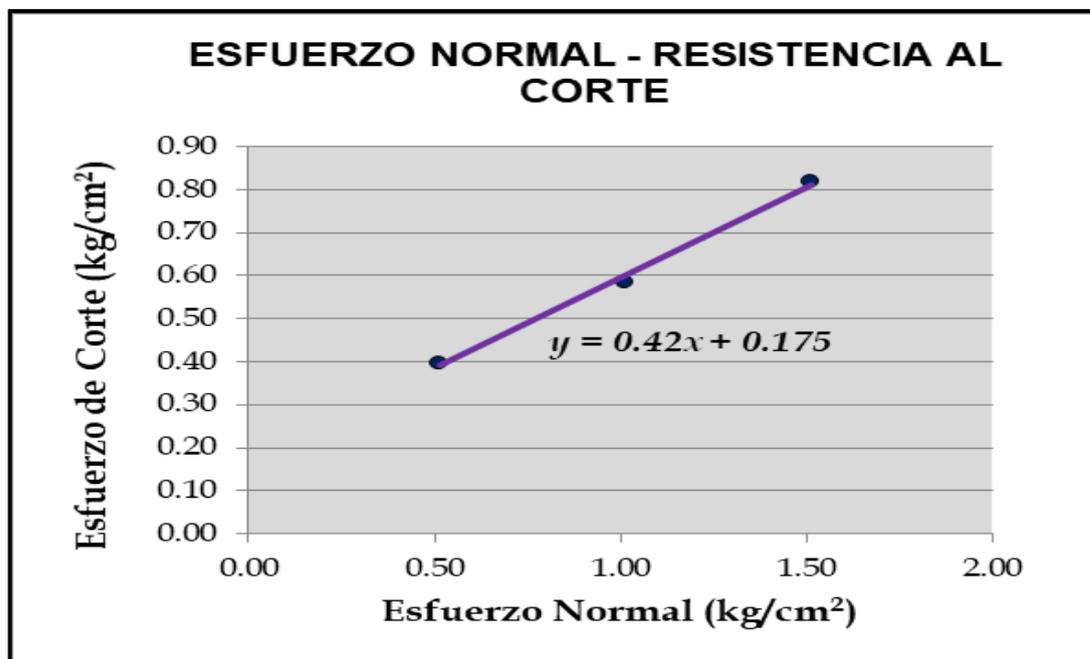
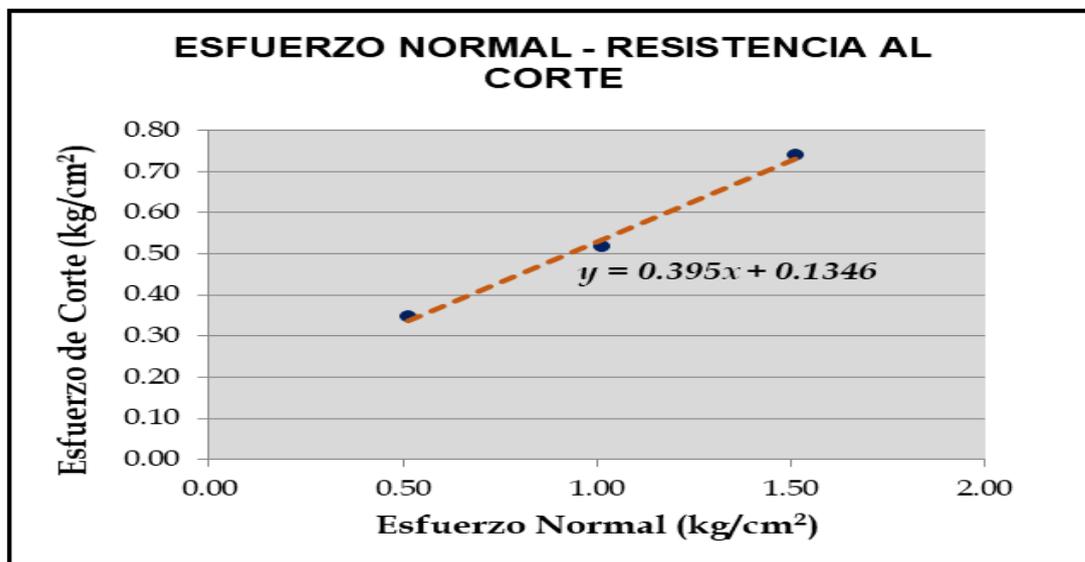


Figura 28

*Esfuerzo normal vs. esfuerzo residual*



Así mismo mediante las lecturas deformaciones horizontales y esfuerzos cortantes de cada espécimen, tal como muestra la Tabla 18, se obtuvo la gráfica comparativa de deformaciones horizontales así como se puede apreciar en la Figura 29.

Tabla 18

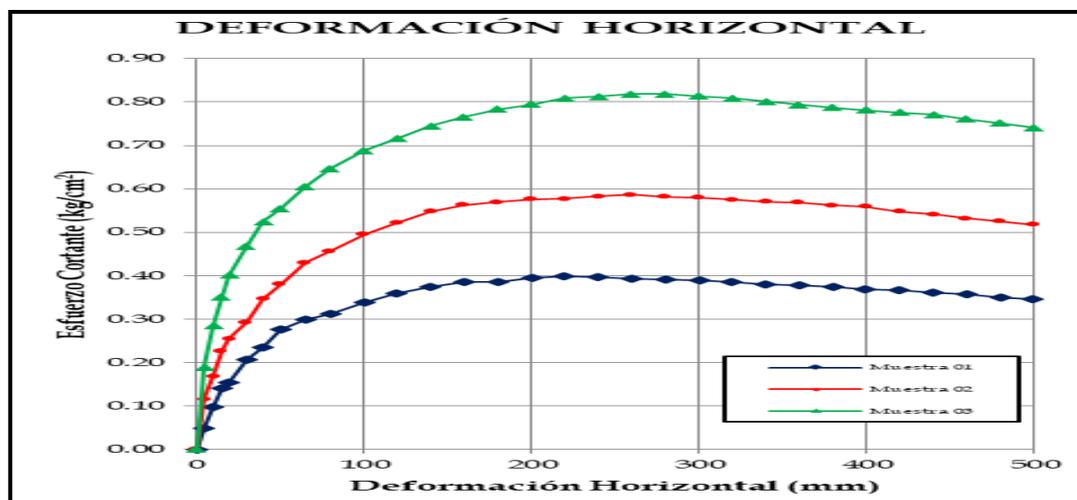
*Esfuerzos cortantes y lecturas de deformación de la calicata 1*

Lectura Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Espécimen 1	Espécimen 2	Espécimen 3
0	0	0	0
5	0,048	0,116	0,189
10	0,099	0,169	0,285
15	0,141	0,228	0,351
20	0,154	0,255	0,401
30	0,206	0,293	0,469
40	0,236	0,347	0,524
50	0,276	0,381	0,555
65	0,299	0,430	0,605
80	0,313	0,457	0,647

Lectura Deformación Horizontal (mm)	Esfuerzo Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Espécimen 1	Espécimen 2	Espécimen 3
100	0,339	0,495	0,689
120	0,359	0,522	0,716
140	0,374	0,548	0,745
160	0,386	0,563	0,766
180	0,387	0,569	0,783
200	0,395	0,576	0,795
220	0,398	0,577	0,809
240	0,396	0,583	0,812
260	0,394	0,586	0,818
280	0,392	0,582	0,818
300	0,390	0,580	0,814
320	0,385	0,576	0,809
340	0,381	0,571	0,801
360	0,378	0,569	0,794
380	0,374	0,562	0,787
400	0,369	0,560	0,782
420	0,367	0,548	0,776
440	0,362	0,541	0,771
460	0,358	0,532	0,761
480	0,351	0,525	0,751
500	0,346	0,518	0,741

Figura 29

*Esfuerzo cortante vs. deformación horizontal para la calicata 1*



Con nuestros esfuerzos cortantes y esfuerzos normales se procedió a realizar el cálculo tanto de la cohesión así como del ángulo de fricción cuyos resultados se presentan en la Tabla 19. De los datos de la Tabla 17 y aplicando la ecuación (12) tenemos que:

$$\tau = C_1 + \sigma_n \cdot \tan(\phi)$$

$$0,398 = C_1 + 0,514 \left( \frac{0,586 - 0,398}{1,014 - 0,514} \right)$$

$$C_1 = 0,205 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = C_2 + \sigma_n \cdot \tan(\phi)$$

$$0,586 = C_2 + 1,014 \left( \frac{0,818 - 0,586}{1,514 - 1,014} \right)$$

$$C_2 = 0,116 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_T = \frac{C_1 + C_2}{2}$$

$$C_T = \frac{0,205 + 0,116}{2}$$

$$\text{Cohesion } C - 1 = C_T = 0,160 \text{ kg/cm}^2$$

**Tabla 19**

*Resultados del ensayo de corte directo*

Calicata	Cohesión C (kg/cm <sup>2</sup> )	Ángulo de Fricción Máximo Ø (°)
C-01	0,160	22,75
C-02	0,164	20,75
C-03	0,204	21,01
C-04	0,323	19,17
C-05	0,150	21,46

A través de la saturación de 3 ensayos se procedió a realizar un nuevo ensayo de corte directo, para así poder comparar los nuevos resultados con los hallados anteriormente y poder determinar cuál es su variación. Como se indica en la Tabla 20 los valores resultantes de la cohesión se vieron reducidos al saturar dichas muestras, mientras que los valores del ángulo de fricción se incrementaron levemente.

**Tabla 20**

*Resultados del ensayo de corte directo con muestras saturadas*

Calicata	Cohesión C (kg/cm <sup>2</sup> )	Ángulo de Fricción Ø (°)
C-01	0,109	24,74
C-03	0,104	24,63
C-05	0,101	23,92

#### **4.2.2. Potencial de Colapso**

Para realizar el presente ensayo se tomó como guía la NTP 339.163 y la ASTM D – 5333. Como muestra la Tabla 21 la primera evaluación para la determinación si un suelo es o no colapsable fue mediante la comparación de las densidades secas con los límites líquidos.

Esta comparación se da a partir del gráfico propuesto por Holtz y Hilf y definido por la norma peruana E 0.50 Suelos y cimentaciones, como se ve en la Figura 30, en donde el punto de intersección de los valores será el que nos determine la colapsabilidad.

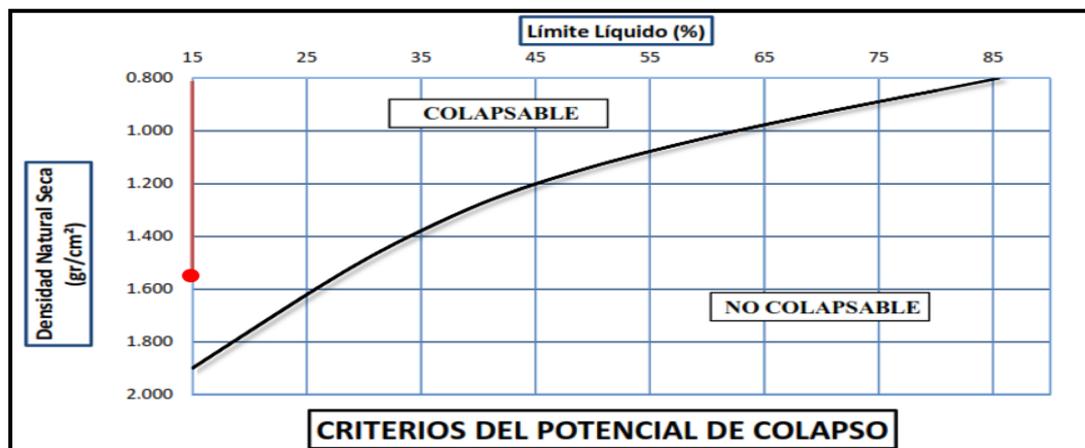
Tabla 21

*Densidad seca y límite líquido para evaluar el potencial de colapso*

Calicatas	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Límite Líquido (%)
C-01	1,458	NP
C-02	1,525	NP
C-03	1,494	NP
C-04	1,438	NP
C-05	1,504	NP

Figura 30

*Criterios del potencial de colapso para la calicata 1*



*Nota.* La figura muestra que el suelo en estudio tuvo una clasificación de colapsable debido a que no posee límite líquido.

Según el gráfico anterior el presente suelo es considerado como colapsable. Al haber determinado que se trata de un suelo colapsable mediante el análisis anterior, se hará el contraste de existencia de la colapsabilidad mediante los resultados obtenidos por el ensayo de potencial de colapso.

Para determinar el colapso se usó el método de simple edómetro propuesto por Houston en 1988. De las lecturas obtenidas se hallaron las relaciones de vacíos para una determinada carga aplicada como se detalla en la Tabla 22 y en la Tabla 23, así también en la fase de saturación de la muestra para una misma carga, se midió cual es la diferencia de vacíos, la cual se usó para los cálculos correspondientes del potencial de colapso.

**Tabla 22**

*Relación de vacíos para el ensayo de colapso con 1 kg/cm<sup>2</sup> de carga*

Ensayo de colapso a 1 kg/cm <sup>2</sup>					
Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Relación de vacíos (e)					
0,01	0,605	0,566	0,591	0,627	0,58
0,25	0,56	0,52	0,563	0,58	0,554
0,51	0,548	0,509	0,556	0,569	0,547
1,02	0,535	0,497	0,548	0,555	0,537
1,02 saturación de muestra	0,502	0,468	0,515	0,521	0,506
2,04	0,49	0,455	0,505	0,511	0,494
3,06	0,482	0,447	0,494	0,503	0,485

Mediante la intersección de valores entre la relación de vacíos con sus cargas aplicadas respectivas, se obtuvo la gráfica característica tal como muestra la Figura 31, donde se aprecia los puntos de saturación para las cargas de 1kg/cm<sup>2</sup> y 2kg/cm<sup>2</sup> definidos por la verticalidad de las líneas de tendencia.

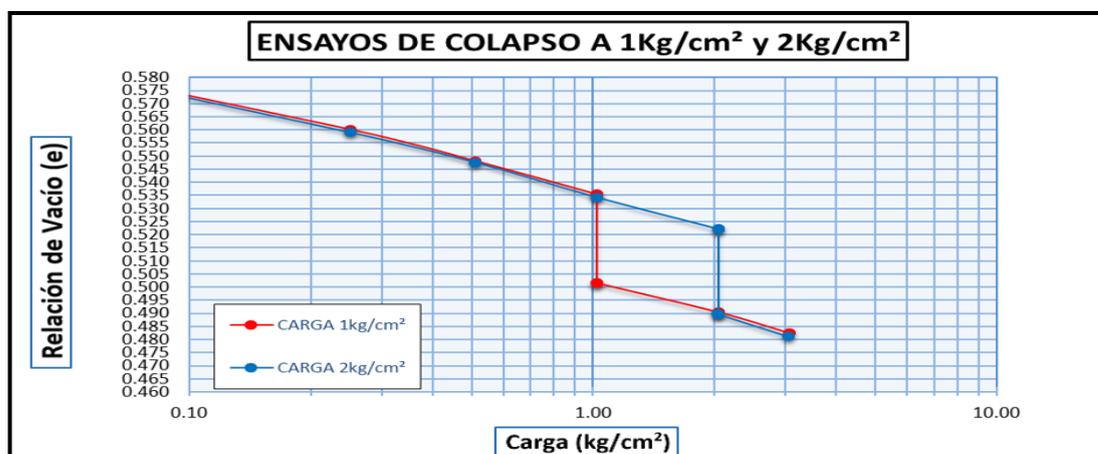
Tabla 23

Relación de vacíos para el ensayo de colapso con 2 kg/cm<sup>2</sup> de carga

Ensayo de colapso a 2 kg/cm <sup>2</sup>					
Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
Relación de vacíos (e)					
0,01	0,605	0,566	0,591	0,627	0,58
0,25	0,559	0,519	0,564	0,581	0,555
0,51	0,548	0,509	0,556	0,571	0,548
1,02	0,534	0,496	0,548	0,557	0,538
2,04	0,522	0,481	0,534	0,544	0,523
2,04 saturación de muestra	0,49	0,453	0,504	0,51	0,494
3,06	0,481	0,445	0,495	0,502	0,485

Figura 31

Gráfica de ensayo de colapso para 1 kg/cm<sup>2</sup> y 2 kg/cm<sup>2</sup> de la calicata 1



Nota. Adaptado de Laboratorio Hi Geoproject.

Para realizar el cálculo del potencial de colapso se utilizó la ecuación (13) y con los datos de las tablas de relación de vacíos se realizaron los cálculos correspondientes, cuyos resultados se presentan en la Tabla 24.

$$I_c(\%) = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

$$I_c(\%) = \frac{0,535 - 0,502}{1 + 0,605}$$

$$\text{Potencial de colapso } C - 1 = I_c(\%) = 2,10 \%$$

**Tabla 24**

*Resultados del ensayo de colapso para 1 kg/cm<sup>2</sup> y 2 kg/cm<sup>2</sup>*

Calicata	Potencial de Colapso para 1 kg/cm <sup>2</sup> (%)	Potencial de Colapso para 2 kg/cm <sup>2</sup> (%)
C-01	2,10	2,03
C-02	1,81	1,82
C-03	2,09	1,91
C-04	2,11	2,12
C-05	2,00	1,86

Considerando los rangos establecido por la Norma Técnica E.050 de suelos y cimentaciones, el promedio de los resultados de las muestras analizadas mediante el ensayo de colapso denota al suelo como un suelo de colapso moderado.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

### 5.1. Análisis de Resultados

#### 5.1.1. *Ensayos Estándar*

De acuerdo a su consistencia se determinó que en todos los puntos de exploración se presentó una consistencia relativamente seca a causa de que las partículas de este suelo no tienen capacidad de retención de líquidos. Se determinó que el suelo presenta material cementante ya que al momento de realizar los ensayos de laboratorio se tomó algo de tiempo el poder separar sus partículas, lo cual se logró a causa de que la cohesión en estos suelos es baja. Por otra parte, se debe resaltar que el suelo en estudio no presenta adhesión en sus partículas, ya que este suelo no tiene la capacidad de retener líquidos lo que se vio reflejado en el ensayo de límite plástico, evidenciando que carece de arcilla.

Para este estudio se determinó que la densidad in situ tiene una variación entre  $1,515 \text{ gr/cm}^3$  y  $1,593 \text{ gr/cm}^3$  lo que nos indica que se presenta una densidad considerada baja. Así mismo los resultados del ensayo de contenido de humedad tienen una variación entre 4,39 % y 5,53 % lo que nos indica que existe presencia de humedad relativamente baja. Cabe resaltar que no fue posible determinar el límite líquido y plástico en este suelo ya que el suelo en estudio no posee estas características.

En el estudio realizado en el distrito de Ciudad Nueva en la Asociación Agropecuaria Apaza, zona relativamente cercana a nuestra zona de estudio, se concluyó que el suelo estudiado tiene clasificación de Arena limosa (SM), es de color beige y contiene Ceniza volcánica. Para nuestra investigación, mediante el análisis granulométrico se dio a conocer que la clasificación correspondiente a este suelo es de una arena limosa (SM) para los 5 puntos de exploración con un color beige claro. Esto nos indica que ambos suelos presentan similitud en estas características debido a la cercanía de ambos estudios.

Para el estudio denominado “Determinación de las propiedades físico-mecánicas del suelo de la zona de piedra blanca – asociación el centinela se determinó que la concentración de sales solubles totales se encuentra dentro de los

valores de 0,2905% y 0,7097%. Para nuestro estudio las concentraciones de sales solubles totales se encuentran entre los valores de 0,3642 % y 0,4121%, que están en un rango de similitud con el estudio anterior. Los valores detallados nos indican que existe un grado perjudicial de contenidos de sales. Así se detalla que nuestra primera hipótesis específica planteada es verdadera.

### **5.1.2. Ensayos Especiales**

Se pudo verificar que los resultados en los ensayos realizados tanto estándares como especiales poseen una clara similitud en los 5 puntos de exploración, esto se debe a que el terreno de la zona de estudio es homogéneo a raíz de la textura que presenta.

En la investigación denominada “Influencia del contenido de sales solubles totales en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del limo arenoso en la institución educativa. Cesar Augusto Cohaila Tamayo”, en el terreno en estado natural se determinó mediante el ensayo de corte directo que para una densidad seca promedio de  $1,45 \text{ gr/cm}^3$  se obtuvo una cohesión promedio de 0,275 y un ángulo de fricción promedio de  $22,29^\circ$ . Para nuestro caso los resultados de la cohesión, así como el ángulo de fricción guardan una mínima variación en los 5 puntos de exploración dándonos a entender que las propiedades en cuanto a resistencia en estos 5 puntos son similares. Para este ensayo se analizaron 3 especímenes por calicata de los cuales se obtuvo que en promedio se tiene un ángulo de fricción de  $21,03^\circ$  y una cohesión de  $0,20 \text{ kg/cm}^2$ . La variación de resultados entre ambos estudios es mínima por lo que las propiedades de resistencia al esfuerzo cortante para este tipo de suelos son semejantes en distintas zonas de estudio. Los resultados obtenidos nos indican que el suelo posee una estructura débil.

Considerando los antecedentes del capítulo 2, en un estudio previamente realizado en el distrito de Calana se determinó que el colapso del suelo de Piedra Blanca – Asoc. El Centinela para las muestras ensayadas son: Muestra 1 = 1,86% y muestra 2 = 1,64% las que representan un colapso moderado. En nuestra investigación se determinó que el potencial de colapso para una carga de  $1 \text{ kg/cm}^2$  es de 2,02% y para una carga de  $2 \text{ kg/cm}^2$  es de 1,948% lo que de igual manera nos representa un suelo de colapso moderado. Los resultados obtenidos se encuentran cercanos a los antecedentes previamente detallados, lo que nos indica que en las zonas de delimitación de la ceniza volcánica en el distrito de calana los suelos

guardan propiedades semejantes en cuanto a la colapsabilidad. Así mismo se detalla que el valor dado de potencial de colapso de 1,51% para nuestra segunda hipótesis específica planteada es relativamente cercana a lo que se obtuvo en este estudio.

### 5.1.3. *Relación del Potencial de Colapso*

En la investigación denominada “Influencia del contenido de sales solubles totales en el potencial de colapso del limo arenoso en la institución educativa Cesar Augusto Cohaila Tamayo en el distrito de Ciudad Nueva”, haciendo un contraste con lo obtenido en esta investigación, se determinó que la relación existente entre el potencial de colapso y la densidad seca es una relación proporcional inversa tal como muestra la Figura 32, así mismo la relación existente del contenido de sales solubles totales es directamente proporcional con el potencial de colapso obtenido así como muestra la Figura 33. Para nuestro estudio como se observa en la Tabla 25, los porcentajes del potencial de colapso se ven incrementados cuando su densidad seca disminuye y ocurre el efecto contrario la densidad seca se incrementa. Se determinó de igual manera que la relación existente entre las sales solubles totales y el potencial de colapso como muestra la Tabla 26, está en una relación proporcional directa, lo que nos indica que la presencia de determinadas cantidades de sales nos proporcionará una referencia del grado de colapso existente en los suelos a ser estudiados. Con esto se infiere que la hipótesis general planteada inicialmente es correcta.

**Tabla 25**

*Densidades secas vs potencial de colapso*

Calicatas	Potencial de Colapso para	Potencial de Colapso para	Densidad Seca(ensayo de densidad in situ)
	1 kg/cm <sup>2</sup>	2 kg/cm <sup>2</sup>	
	(%)	(%)	(gr/cm <sup>3</sup> )
C-1	2,1	2,03	1,458
C-2	1,81	1,82	1,525
C-3	2,09	1,91	1,494
C-4	2,11	2,12	1,438
C-5	2	1,86	1,504

*Nota.* Las densidades secas usadas para el cálculo del potencial de colapso fueron recalculadas por el laboratorio Hi geoproject , sin embargo la variación con respecto a las densidades secas iniciales es mínima.

Figura 32

Comparación del potencial de colapso y las densidades secas

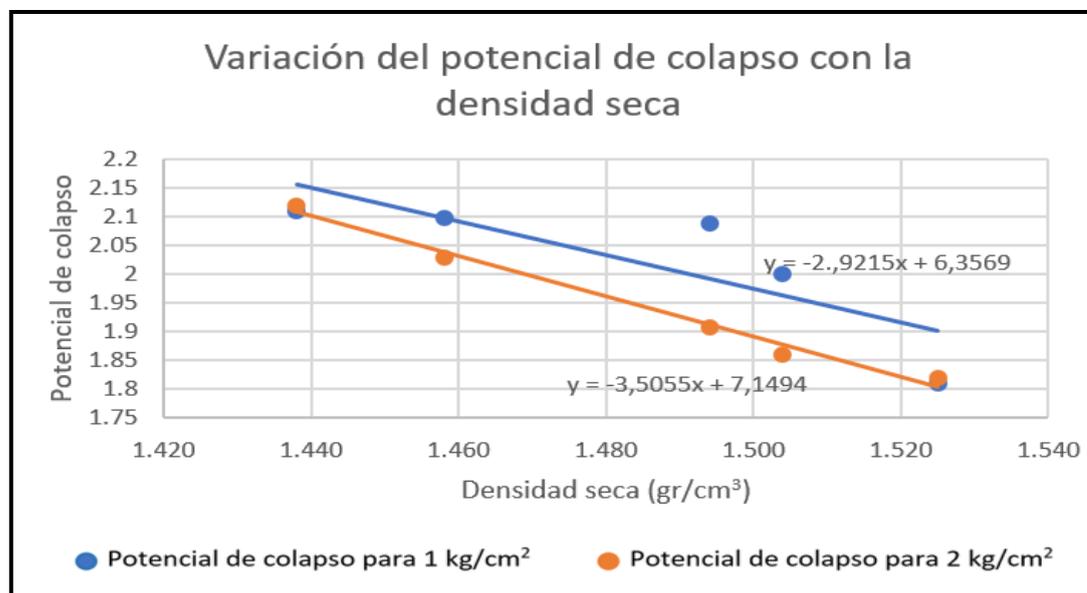


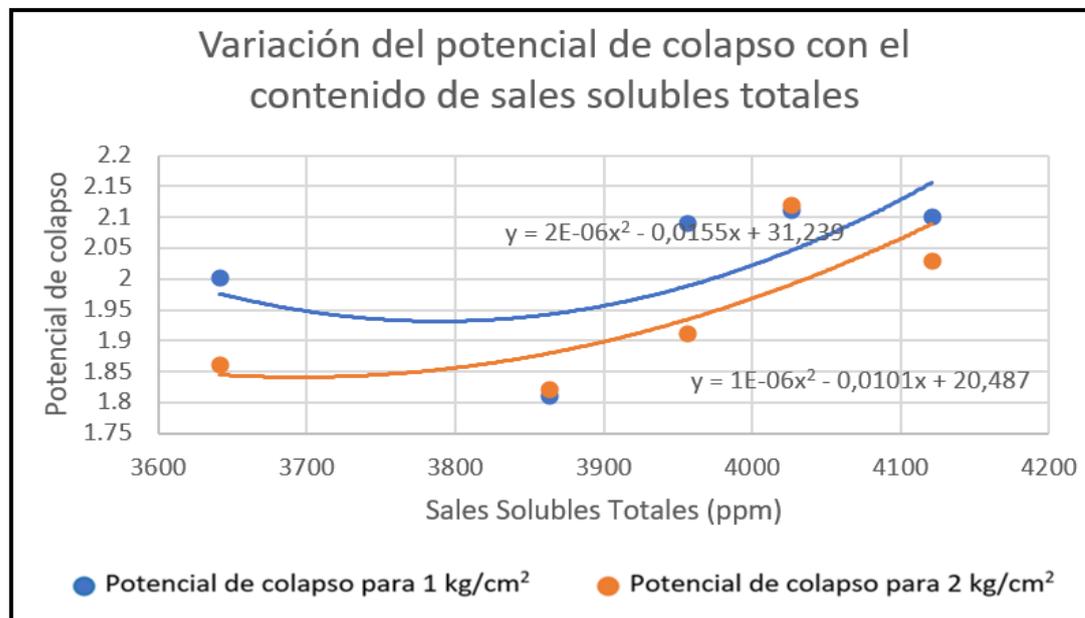
Tabla 26

Salas solubles totales vs potencial de colapso

Calicatas	Sales Solubles Totales en Suelos		Potencial de Colapso para	Potencial de Colapso para
			1 kg/cm <sup>2</sup>	2 kg/cm <sup>2</sup>
	%	P.P.M	(%)	(%)
C-1	0,4121	4121,2	2,1	2,03
C-2	0,3863	3863,3	1,81	1,82
C-3	0,3956	3956,4	2,09	1,91
C-4	0,4026	4026,4	2,11	2,12
C-5	0,3642	3641,5	2	1,86

Figura 33

Comparación del potencial de colapso con las sales solubles totales



## 5.2. Mejoramiento de Suelos Derivados de Ceniza Volcánica

Para poder mejorar este tipo de suelos se deben seguir un conjunto de procedimientos antes de la construcción que actuaran de forma directa en el terreno. Este mejoramiento implica modificar las características del suelo afectado ya sea por una acción física o por la adición de algún otro material que actúe como estabilizante.

Como menciona el Reglamento Nacional de Edificaciones Edificaciones E.050 “Suelo y Cimentaciones” se sugiere que para el mejoramiento se debe retirar totalmente el suelo en cuestión antes de dar inicio con la construcción y este debe ser reemplazado por rellenos controlados que sean compactados de manera adecuada.

A raíz de las investigaciones a lo largo de los años para este tipo de suelos, se han determinado algunas técnicas como, por ejemplo:

- **Remoción del estrato colapsable:** El estrato donde se identificó el colapso puede ser removido y la construcción puede ser establecida directamente sobre el material que no sea colapsable. La desventaja de esta técnica es que solo se

recomienda aplicarla hasta una profundidad máxima de 4 metros ya que de otra manera resultaría muy costoso aplicarla.

- **Pre-humedecimiento:** Esta técnica es la forma de mitigación de más uso ya que es efectiva a un costo razonable. Es recomendable para estratos de suelos colapsables que sean profundos. La desventaja de esta técnica es que para que resulte lo suficientemente efectiva, debe ser combinada con otras medidas como el humedecimiento controlado y la compactación.

### 5.3. Correlación de Variables

#### 5.3.1. *Confiabilidad del Instrumento*

##### a. Variable Independiente

El alpha de cronbach mide la fiabilidad de los datos en una escala del 0 al 1, siendo el rango de 0,8 a 1 lo más fiable. En la Tabla 27 se detalla cuál es el valor para la variable independiente.

**Tabla 27**

*Coefficiente de Alpha de Cronbach de la variable independiente*

Alfa de Cronbach	N° de elementos
0,946	40

Se obtuvo un valor por encima de 0,8 lo que nos indica que los datos de los resultados de la variable independiente son fiables.

##### b. Variable Dependiente

El alpha de cronbach mide la fiabilidad de los datos en una escala del 0 al 1, siendo el rango de 0,8 a 1 lo más fiable. En la Tabla 28 se detalla cuál es el valor para la variable dependiente.

**Tabla 28***Coefficiente de Alpha de Cronbach de la variable dependiente*

Alfa de Cronbach	N° de elementos
0,946	40

Se obtuvo un valor por encima de 0,8 lo que nos indica que los datos de los resultados de la variable dependiente son fiables.

### 5.3.2. Validez del contenido del instrumento

El test de Kaiser-Meyer Olkin (KMO) sirve para comprobar cuál es el grado de correlación en conjunto entre las variables, esto nos permite valorar cual es el grado en que cada una de las variables es predecible a partir de las demás. La medición de este test varía 0 y 1, siendo que a mayor valor se obtenga, habrá un mayor grado de correlación de las variables. Para las variables independientes y dependientes se obtuvieron los valores que se detallan en la Tabla 29 y Tabla 30 .

**Tabla 29**

*Validación del instrumento mediante la Prueba de KMO y Bartlett para la variable independiente*

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0,768
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	5432,765
	GI	680
	Sig.	0,000

El KMO (Medida Kaiser-Meyer-Olkin), para la variable independiente, tiene un valor de 0,768, y al ser mayor a 0,500, se demuestra que el instrumento es válido.

**Tabla 30**

*Validación del instrumento mediante la Prueba de KMO y Bartlett para la variable dependiente*

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0,867
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	2676,811
	GI	170
	Sig.	0,000

El KMO (Medida Kaiser-Meyer-Olkin), para la variable independiente, tiene un valor de 0,867, y al ser mayor a 0,500, se demuestra que el instrumento es válido.

#### 5.4. Prueba de normalidad

Es una prueba estadística que nos ayuda a determinar la normalidad o no de las variables. Nos indica si un conjunto de datos se distribuye de una manera que es referible con una distribución normal. Los datos y resultados de la prueba de normalidad de muestran en la Tabla 31 y la Tabla 32.

**Tabla 31**

*Prueba de normalidad para variable independiente*

	Parámetros normales <sup>a,b</sup>		Máximas diferencias extremas			Estadístico de prueba	Sig. Asintótica (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Absoluto	Positivo	Negativo		
P1	2,33	0,945	0,199	0,198	-0,199	0,199	0,000 <sup>c</sup>
P2	2,05	0,813	0,234	0,206	-0,234	0,234	0,000 <sup>c</sup>
P3	2,11	0,870	0,292	0,292	-0,212	0,292	0,000 <sup>c</sup>
P4	2,70	0,948	0,198	0,198	-0,196	0,198	0,000 <sup>c</sup>
P5	2,64	0,973	0,242	0,242	-0,180	0,242	0,000 <sup>c</sup>
P6	2,46	0,887	0,247	0,179	-0,247	0,247	0,000 <sup>c</sup>
P7	2,22	0,816	0,252	0,185	-0,252	0,252	0,000 <sup>c</sup>
P8	2,69	0,629	0,290	0,263	-0,290	0,290	0,000 <sup>c</sup>
P9	2,38	0,771	0,288	0,288	-0,223	0,288	0,000 <sup>c</sup>
P10	2,65	0,822	0,249	0,225	-0,249	0,249	0,000 <sup>c</sup>

	Parámetros normales <sup>a,b</sup>		Máximas diferencias extremas			Estadístico de prueba	Sig. Asintótica (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Absoluto	Positivo	Negativo		
P11	3,07	0,908	0,196	0,196	-0,182	0,196	0,000 <sup>c</sup>
P12	2,67	1,051	0,233	0,233	-0,159	0,233	0,000 <sup>c</sup>
P13	2,56	0,959	0,206	0,206	-0,202	0,206	0,000 <sup>c</sup>
P14	2,84	0,961	0,203	0,203	-0,172	0,203	0,000 <sup>c</sup>
P15	2,82	0,953	0,241	0,226	-0,241	0,241	0,000 <sup>c</sup>
P16	2,61	0,898	0,213	0,213	-0,207	0,213	0,000 <sup>c</sup>
P17	2,55	1,070	0,199	0,199	-0,160	0,199	0,000 <sup>c</sup>
P18	2,92	0,962	0,186	0,178	-0,186	0,186	0,000 <sup>c</sup>
P19	2,67	0,929	0,233	0,233	-0,170	0,233	0,000 <sup>c</sup>
P20	2,70	1,031	0,229	0,229	-0,161	0,229	0,000 <sup>c</sup>

**Tabla 32***Prueba de normalidad para variable dependiente*

	Parámetros normales <sup>a,b</sup>		Máximas diferencias extremas			Estadístico de prueba	Sig. Asintótica (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Absoluto	Positivo	Negativo		
P1	2.56	0,835	0,244	0,206	-0,244	0,244	0,000 <sup>c</sup>
P2	2,43	0,718	0,349	0,213	-0,349	0,349	0,000 <sup>c</sup>
P3	2,65	0,917	0,219	0,219	-0,203	0,219	0,000 <sup>c</sup>
P4	2,69	0,696	0,283	0,283	-0,228	0,283	0,000 <sup>c</sup>
P5	2,62	0,609	0,291	0,291	-0,288	0,291	0,000 <sup>c</sup>
P6	2,67	0,633	0,282	0,271	-0,282	0,282	0,000 <sup>c</sup>
P7	2,69	0,663	0,347	0,253	-0,347	0,347	0,000 <sup>c</sup>
P8	2,64	0,787	0,282	0,244	-0,282	0,282	0,000 <sup>c</sup>
P9	2,88	1,008	0,224	0,224	-0,176	0,224	0,000 <sup>c</sup>
P10	2,94	1,028	0,190	0,190	-0,153	0,190	0,000 <sup>c</sup>
P11	2,86	0,812	0,233	0,233	-0,191	0,233	0,000 <sup>c</sup>
P12	2,90	1,085	0,242	0,242	-0,177	0,242	0,000 <sup>c</sup>
P13	2,91	1,003	0,255	0,255	-0,165	0,255	0,000 <sup>c</sup>
P14	2,88	1,093	0,234	0,234	-0,158	0,234	0,000 <sup>c</sup>
P15	2,98	1,054	0,186	0,186	-0,152	0,186	0,000 <sup>c</sup>
P16	2,93	1,108	0,171	0,171	-0,154	0,171	0,000 <sup>c</sup>
P17	3,03	1,184	0,172	0,156	-0,172	0,172	0,000 <sup>c</sup>
P18	3,01	1,149	0,157	0,154	-0,157	0,157	0,000 <sup>c</sup>
P19	3,07	1,211	0,159	0,159	-0,143	0,159	0,000 <sup>c</sup>
P20	2,97	1,178	0,201	0,201	-0,154	0,201	0,000 <sup>c</sup>

La significancia asintótica o p-valor es menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptamos la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

La significancia asintótica o p-valor es menor a 0,05, por lo que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptamos la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

Para determinar las correlaciones de las variables se usó el Rho de Spearman como muestra la Tabla 33.

**Tabla 33***Correlaciones*

			Variable Independiente	Variable Dependiente
Rho de	Variable	Coeficiente	1,000	0,732**
Spearman	Independiente	de correlación		
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	60	60
	Variable	Coeficiente	0,732**	1,000
	Dependiente	de correlación		
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	60	60

*Nota.* \*\*. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

## CONCLUSIONES

Según el Artículo 35 del Capítulo VI PROBLEMAS ESPECIALES DE CIMENTACIÓN, de la Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones” del R.N.E. se considera los criterios de Potencial de colapso (Gráfico Holtz y Hilf), el cual muestra la relación entre suelos colapsables y no colapsables en función de los parámetros de límite líquido (LL) y densidad natural seca. Con los datos obtenidos del estudio se concluyó que la relación existente entre el colapso y densidad seca es inversamente proporcional, así mismo, la relación entre el límite líquido y densidad seca nos dio como resultado un suelo colapsable. Se determinó de igual manera que la colapsabilidad o potencial. de colapso tiene una relación directamente proporcional al contenido de sales solubles.

Según los ensayos estándares realizados se determinó que el suelo en estudio es una arena limosa (SM) compuesto por granos de arena suelta con presencia de material cementante que está conformado por cenizas volcánicas. Respecto a su color presenta una coloración beige clara. Para los ensayos de análisis químico de suelos se determinó que presenta un grado “Moderado” de sulfatos, un grado “Perjudicial” por contenido de cloruros y un grado “Perjudicial” en sales solubles totales. Así mismo presenta una estructura débil debido a que presenta una baja cohesión.

Los ensayos se realizaron a las muestras de las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4, C-5 sometidos a presiones de  $1\text{kg/cm}^2$  y  $2\text{Kg/cm}^2$ . Según los rangos establecidos por la Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones” del R.N.E. el promedio de los resultados de las muestras analizadas mediante el ensayo de Colapso (ASTM D – 5333) nos da como resultados que para  $1\text{kg/cm}^2$  se tiene 2,02 % de potencial de colapso y para  $2\text{ kg/cm}^2$  se tiene 1.948 % de potencial de colapso, definiendo al suelo como “Suelo de colapso Moderado”.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a los tesisistas en futuras investigaciones que en el caso se tenga indicios que la zona de estudio es potencialmente colapsable, se debe hacer énfasis en el estudio de los contenidos de sales solubles y densidad seca de estos suelos, ya que, mediante estas, como se pudo ver en la presente tesis, se puede inferir cual puede ser el grado o severidad de colapso.

Se recomienda a los futuros tesisistas realizar un estudio en el que no sólo se evalúe el contenido de sulfatos y cloruros en el suelo, sino que esta evaluación sea directamente aplicada a una mezcla de concreto estructural con presencia de acero de refuerzo, así se determinará cual es la incidencia del ataque químico en la vida útil del concreto armado.

Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Calana considerar los resultados de la presente tesis a fin de tomar la decisión del reemplazo del suelo para edificaciones futuras en la zona cuando esté presente un colapso moderado, siguiendo el procedimiento del retiro del suelo total antes del inicio de construcción y reemplazarlo por un relleno controlado, compactado adecuadamente de acuerdo a la norma. Así mismo, se recomienda seguir las consideraciones generales para el diseño y construcción de obras sobre este tipo de suelos como una remoción del estrato colapsable o Pre-humedecimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza, F., Churata, R., Tupayachi, P., Almiron, J., & Velasco, F. (2018). *Estudio de la ceniza de volcanes peruanos como materia prima*. Foro Internacional: Los volcanes y su impacto.
- Blanco, R., & Santos, E. (2017). Afectacion de los terrenos y obras de superficie por los trabajos subterráneos.(pp. 13). Editorial Compas. Obtenido de <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/207>
- Blasco, M. (1976). *Suelos Agrícolas Volcanicos de America central*.
- Cañi, G. (2020). *Caracterizacion y Evaluacion del potencial de colapso de la ceniza volcanica con fines de cimentacion superficial en el distrito Alto de la Alianza - Tacna - 2020*. [Tesis de maestria, Universidad privada de Tacna]. Obtenido de Repositorio Universidad Privada de Tacna.
- Condori, B. (2012). *Investigación del conglomerado especial en la Ciudad de Tacna*. [Tesis de maestria, Universidad Nacional de Ingenieria]. Obtenido de Repositorio institucional Universidad nacional de Ingenieria.: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1307>
- Espinoza, J. (2004). *Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica*. Instituto de la Potasa y el Fósforo - INPOFOS.
- Espinoza, J. (2008). *Distribución, uso y manejo de los suelos de la Región Andina*. In XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo.
- Flores, A. (2017). *Determinacion de los parametros de la resistencia al esfuerzo cortante del puesto de salud intiorko de la asociacion de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva - tacna*. [Tesis de maestria, Universidad privada de Tacna]. Obtenido de Repositorio de la Universidad Privada de Tacna: <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/417>
- Flores, E., & Rospigliosi, R. (2005). *Influencia del contenido de sales solubles totales en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del limo arenoso en la institución educativa Cesar Cohaila Tamayo N°42250 del distrito de Ciudad Nueva-Tacna*. [Tesis de título profesional,Universidad Privada de Tacna]. Obtenido de Repositorio Universidad Privada de Tacna.
- Gallegos, G., & Escalera, M. (2014). *Identificación de los suelos dispersivos y colapsables del valle de rio Verde*. (pp. 86). Revista Digital del Cedex. Obtenido de <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/506>
- García, J., & Colmenares, J. (2011). *Predicción de la resistencia al corte en los suelos*

- naturales derivados de ceniza volcánica.* In Pan-Am CGS geotechnical conference.
- Gonzales, F., & Palacios, G. (2015). *Influencia del contenido de sales solubles totales en el potencial de colapso del limo arenoso en la institución educativa Cesar Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva-Tacna.* [Tesis de título profesional, Universidad Privada de Tacna]. Obtenido de Repositorio Universidad Privada de Tacna.
- Herrera, M. (2006). *Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia: estudio fundamental e implicaciones en ingeniería.* [Tesis doctoral, Universidad de los Andes]. Obtenido de Repositorio institucional Universidad de los Andes.: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/7812>
- Isidro, A., & Cañi, A. (2017). *Determinación de las propiedades físico-mecánicas del suelo de la zona de Piedra Blanca – Asociación El Centinela, Distrito de Calana, Departamento de Tacna.* [Tesis de título profesional, Universidad privada de Tacna]. Obtenido de Respositorio Universidad Privada de Tacna: <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/340>
- Jennings, J., & Knight, K. (1975). *A guide of construction on or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure.* Proceedings 6th African Conference on Soil. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/qdownload/ntp-339-163-2001-potencial-de-colapso-de-suelos-5-pdf-free.html>
- Mamani, J., & Apaza, J. (2018). *Caracterización del tipo de suelo y problemas especiales de cimentación de edificaciones en la Asociación Agropecuaria Apaza – 2018.* [Tesis de título profesional, Universidad privada de Tacna]. Obtenido de Repositorio Universidad Privada de Tacna: <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/1053>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2013). Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Seccion suelos y pavimentos.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales.*
- Ministerio de Vivienda Construcción y saneamiento [MVCS]. (2018). *E.050 Suelos y Cimentaciones.*
- Norma Técnica E.050. (2018). *Suelos y Cimentaciones.*
- Norma Técnica Peruana 339.127. (2014). *Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.*
- Norma Técnica Peruana 339.128. (2014). *Método de ensayo para el análisis granulométrico.*

- Norma Técnica Peruana 339.129. (2014). *Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos.*
- Norma Técnica Peruana 339.131. (1999). *Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.*
- Norma técnica peruana 339.134. (2014). *Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).*
- Norma Técnica Peruana 339.138. (1999). *Método de ensayo estándar para la determinación del índice de densidad y peso unitario mínimos de suelos y cálculo de densidad relativa.*
- Norma Técnica Peruana 339.143. (2014). *Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena (p. 25).*
- Norma Técnica Peruana 339.151. (2015). *Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelo.*
- Norma Técnica Peruana 339.152. (2002). *Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles y agua subterránea.*
- Norma Técnica Peruana 339.163. (2015). *Método de ensayo normalizado para la medición del potencial de colapso de suelo.*
- Norma Técnica Peruana 339.171. (1999). *Método de ensayo normalizado para el ensayo de corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas no drenadas.*
- Norma Técnica Peruana 339.177. (2002). *Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos y agua subterránea.*
- Norma Técnica Peruana 339.178. (2002). *Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea.*
- Normas Colombianas de diseño y construcción sísmo resistente. (1997). *Estudio geotécnicos.*
- Vielma, R. (2009). *Causas, daños y mitigación del fenómeno de colapso del suelo. [Tesis de título profesional, Universidad Central de Venezuela].* Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad Central de Venezuela: <http://saber.ucv.ve/handle/123456789/13683>
- Wilson, J., & Garcia, W. (1962). *Geología de los cuadrangulos de Pachia y Palca.* (pp. 50). Comision Carta Geológica Nacional, II, 82. Obtenido de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe>

## ANEXOS

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología
<p>1. Interrogante principal</p> <p>¿Cómo se relaciona las características de los suelos derivados de las cenizas volcánicas con la evaluación del potencial del colapso en el distrito de Calana?</p>	<p>1. objetivo general</p> <p>Determinar la relación de las características de los suelos derivados de las cenizas volcánicas con la evaluación del potencial del colapso en el distrito de Calana</p> <p>2. objetivos específicos</p>	<p>1. hipótesis general</p> <p>Las características de los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen una directa y fuerte relación con la evaluación del potencial de colapso en el distrito de Calana</p> <p>2. hipótesis específicas</p>	<p>variable independiente</p> <p>b1. Suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana – Tacna.</p> <p>indicadores: características físicas y química de la ceniza volcánica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- granulometría</li> <li>- límites de atterberg</li> <li>- densidad insitu</li> <li>- clasificación sucs</li> <li>- sales solubles, sulfatos y cloruros</li> </ul> <p>variable dependiente</p> <p>b2. Evaluación del potencial de colapso.</p> <p>indicadores: índice de colapso</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ninguno</li> <li>- leve</li> <li>- moderado</li> <li>- moderadamente severo</li> <li>-severo índice de colapso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tipo de investigación Básica</li> <li>- diseño de la investigación Diseño correlacional</li> <li>- ámbito de estudio departamento de tacna / distrito de calana</li> <li>- población la población se encuentra ubicada en los sectores de la asociación los ángeles de vilauta.</li> <li>- muestra 05 puntos de exploración</li> <li>- instrumentos <ul style="list-style-type: none"> <li>- libreta de apuntes</li> <li>- fichas de laboratorio</li> <li>- memoria usb</li> <li>- lapiceros</li> <li>-cámara fotográfica</li> <li>-palas y Picos</li> </ul> </li> </ul>
<p>2. Interrogantes específicas</p> <p>¿Cuáles son las características físicas y químicas determinantes en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana?</p> <p>¿Cuál es el potencial de colapso en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana?</p>	<p>Establecer las características físicas y químicas determinantes en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana</p> <p>Determinar el potencial de colapso en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana</p>	<p>Las características físicas y químicas que prevalecen en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana corresponden a arenas limosas con una concentración perjudicial de sales solubles.</p> <p>El potencial de colapso en los suelos derivados de cenizas volcánicas es de 1.51%</p>		



"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SULFATOS, CLORUROS, SALES DISUELTOS TOTALES

MTC E 219 / ASTM D 516 / ASTM D 512, NTP 334.148

PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"		
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-01
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	10/09/2021

ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - SULFATOS NORMA: NTP 339.178 / AASHTO T 290

Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1925	1925.4	0-1000	Leve
			1000-2000	Moderado
			2000-20000	Severo
			>20000	Muy severo

ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - CLORUROS NORMA: NTP 339.177

Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1743	1743.1	<1000	Sin Riesgo
			1000	Máximo
			>1000	Perjudicial

ENSAYO DE ANÁLISIS FÍSICO - SALES SOLUBLES TOTALES NORMA: NTP 339.152

Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.4121	4121.2	<1500	Sin Riesgo
			1500	Máximo
			>1500	Perjudicial

**Observaciones:** La concentración para sulfatos es de 1925.4 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como moderado, la concentración para cloruros es de 1743.1 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial y la concentración para sales solubles es de 4121.2 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial



Ing. ALBERTO ENRIQUE FRANCO VILDOSO  
CIP : 78503  
Ingeniero Químico



"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SULFATOS, CLORUROS, SALES DISUELTOS TOTALES

MTC E 219 / ASTM D 516 / ASTM D 512, NTP 334.148

PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"			
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-02	
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	10/09/2021	
ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - SULFATOS NORMA: NTP 339.178 / AASHTO T 290				
Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1481	1481.3	0-1000	Leve
			1000-2000	Moderado
			2000-20000	Severo
			>20000	Muy severo
ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - CLORUROS NORMA: NTP 339.177				
Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1323	1323.2	<1000	Sin Riesgo
			1000	Máximo
			>1000	Perjudicial
ENSAYO DE ANÁLISIS FÍSICO - SALES SOLUBLES TOTALES NORMA: NTP 339.152				
Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.3863	3863.3	<1500	Sin Riesgo
			1500	Máximo
			>1500	Perjudicial
<b>Observaciones:</b> La concentración para sulfatos es de 1481.3 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como moderado, la concentración para cloruros es de 1323.2 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial y la concentración para sales solubles es de 3863.3 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial				



  
 Ing. ALBERTO ENRIQUE FRANCO VILDOSO  
 CIP: 78803  
 Ingeniero Químico



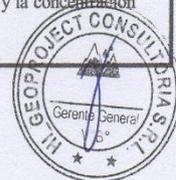
"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"

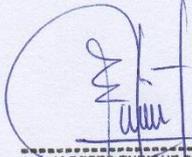
### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SULFATOS, CLORUROS, SALES DISUELTOS TOTALES

MTC E 219 / ASTM D 516 / ASTM D 512, NTP 334.148

PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"			
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-03	
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	10/09/2021	
ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - SULFATOS NORMA: NTP 339.178 / AASHTO T 290				
Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1845	1844.5	0-1000	Leve
			1000-2000	Moderado
			2000-20000	Severo
			>20000	Muy severo
ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - CLORUROS NORMA: NTP 339.177				
Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
.Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1593	1592.9	<1000	Sin Riesgo
			1000	Máximo
			>1000	Perjudicial
ENSAYO DE ANÁLISIS FÍSICO - SALES SOLUBLES TOTALES NORMA: NTP 339.152				
Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.3956	3956.4	<1500	Sin Riesgo
			1500	Máximo
			>1500	Perjudicial

**Observaciones:** La concentración para sulfatos es de 1844.5 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como moderado, la concentración para cloruros es de 1592.9 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial y la concentración para sales solubles es de 3956.4 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial



  
 Ing. ALBERTO ENRIQUE FRANCO VILDOSO  
 CIP: 78403  
 Ingeniero Químico



"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SULFATOS, CLORUROS, SALES DISUELTOS TOTALES

MTC E 219 / ASTM D 516 / ASTM D 512, NTP 334.148

PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"		
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-04
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	10/09/2021

ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - SULFATOS NORMA: NTP 339.178 / AASHTO T 290

Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1864	1863.9	0-1000	Leve
			1000-2000	Moderado
			2000-20000	Severo
			>20000	Muy severo

ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - CLORUROS NORMA: NTP 339.177

Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1668	1668.1	<1000	Sin Riesgo
			1000	Máximo
			>1000	Perjudicial

ENSAYO DE ANÁLISIS FÍSICO - SALES SOLUBLES TOTALES NORMA: NTP 339.152

Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.4026	4026.4	<1500	Sin Riesgo
			1500	Máximo
			>1500	Perjudicial

**Observaciones:** La concentración para sulfatos es de 1863.9 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como moderado, la concentración para cloruros es de 1668.1 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial y la concentración para sales solubles es de 4026.4 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial



  
 Ing. ALBERTO ENRIQUE FRANCO VILDOSO  
 CIP : 78503  
 Ingeniero Químico



"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"

**ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SULFATOS, CLORUROS, SALES DISUELTOS TOTALES**

MTC E 219 / ASTM D 516 / ASTM D 512, NTP 334.148

PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"		
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-05
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	10/09/2021

ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - SULFATOS NORMA: NTP 339.178 / AASHTO T 290

Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1813	1812.6	0-1000	Leve
			1000-2000	Moderado
			2000-20000	Severo
			>20000	Muy severo

ENSAYO DE ANÁLISIS QUÍMICO - CLORUROS NORMA: NTP 339.177

Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.1738	1737.8	<1000	Sin Riesgo
			1000	Máximo
			>1000	Perjudicial

ENSAYO DE ANÁLISIS FÍSICO - SALES SOLUBLES TOTALES NORMA: NTP 339.152

Descripción	Resultado		Parámetro según especificaciones	
	%	ppm		
Suelo de fundacion , ceniza volcanica	0.3642	3641.5	<1500	Sin Riesgo
			1500	Máximo
			>1500	Perjudicial

**Observaciones:** La concentración para sulfatos es de 1812.6 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como moderado, la concentración para cloruros es de 1737.8 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial y la concentración para sales solubles es de 3641.5 ppm por lo tanto la severidad del problema es catalogado como perjudicial



*[Handwritten Signature]*  
 Ing. ALBERTO ENRIQUE FRANCO VILDOZO  
 CIP : 78503  
 Ingeniero Químico

 <p>"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"</p>					
ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL					
NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333					
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"				
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA		MUESTRA	C-01	
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA		FECHA	1/09/2021	
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA					
Diametro	(cm.)	7.98	Area	(cm <sup>2</sup> )	50.00
Altura	(cm.)	2.05	Volumen	(cm <sup>3</sup> )	102.50
Peso específico	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso	(gr.)	162.26
Densidad Natural	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.583	Densidad Seca	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.558
Humedad	(%)	1.61	Densidad del agua	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.000
CARGA 1 Kg/cm2			CARGA 2 Kg/cm2		
Carga (kg/cm2)	L. dial (0.01 mm)	altura de la muestra (cm)	Carga (kg/cm2)	L. dial (0.01 mm)	altura de la muestra (cm)
0.01	0.00	2.05	0.01	0.00	2.050
0.25	56.98	1.99	0.25	58.34	1.992
0.51	72.36	1.98	0.51	72.96	1.977
1.02	88.66	1.96	1.02	90.02	1.960
1.02	131.69	1.92	2.04	105.41	1.945
2.04	146.03	1.90	2.04	147.02	1.903
3.06	156.26	1.89	3.06	157.95	1.89





"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"

### ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL

NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333

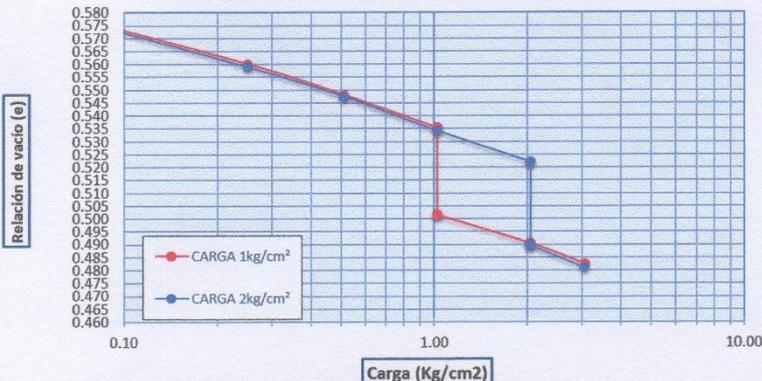
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"		
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-01
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	1/09/2021

#### CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Diametro (cm.)	7.98	Area (cm <sup>2</sup> )	50.00
Altura (cm.)	2.05	Volumen (cm <sup>3</sup> )	102.50
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso (gr.)	162.26
Densidad Natural (gr/cm <sup>3</sup> )	1.583	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.558
Humedad (%)	1.61	Densidad del agua (gr/cm <sup>3</sup> )	1.000

ENSAYO DE COLAPSO A 1 Kg/cm <sup>2</sup>		ENSAYO DE COLAPSO A 2 Kg/cm <sup>2</sup>	
Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Relacion de vacios (e)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Relacion de vacios (e)
0.01	0.605	0.01	0.605
0.25	0.560	0.25	0.559
0.51	0.548	0.51	0.548
1.02	0.535	1.02	0.534
1.02 - saturación de muestra	0.502	2.04	0.522
2.04	0.490	2.04 - saturación de muestra	0.490
3.06	0.482	3.06	0.481

#### ENSAYOS DE COLAPSO A 1Kg/cm<sup>2</sup> y 2Kg/cm<sup>2</sup>



ENSAYO DE COLAPSO	POTENCIAL DE COLAPSO (%)
1 Kg/cm <sup>2</sup>	2.10
2 Kg/cm <sup>2</sup>	2.03

C.P. (%)	Severidad del problema
0	No colapsa
0.1 a 2	Leve
2.1 a 6	Colapso Moderado
6.1 a 10	Moderadamente severo
>10.0	Colapso muy severo

**Observaciones:** El potencial de colapso a 1 Kg/cm<sup>2</sup> es 2.10% ,por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso moderado" y el potencial de colapso a 2 Kg/cm<sup>2</sup> es 2.03 % ,por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso leve"; según lo propuesto por Clemence y Finbar y definido en la norma peruana E0.50 Suelos y Cimentaciones.



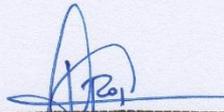

**HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.**  
 Geología y Geotecnia para la Construcción y Minería.  
 Tec. Lab. **LUIS ANGEL CALIZAYA JAPUR**  
 Laboratorio Suelos Concreto y Pavimento

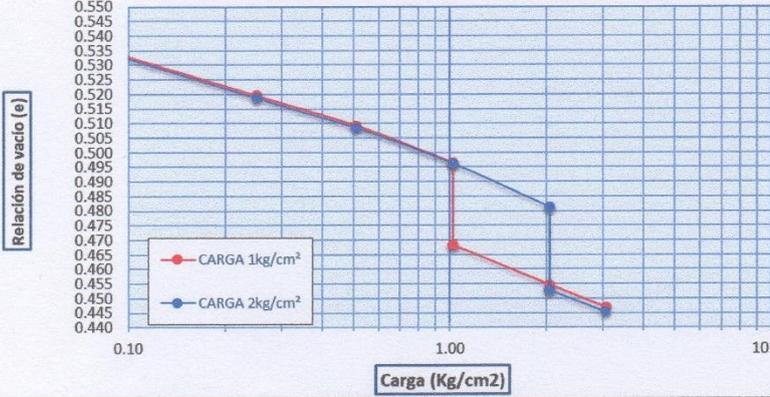
  
**JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA**  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. N° 186048

 <p>"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"</p>					
ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL					
NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333					
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"				
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA		MUESTRA	C-02	
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA		FECHA	1/09/2021	
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA					
Diametro	(cm.)	7.98	Area	(cm <sup>2</sup> )	50.00
Altura	(cm.)	2.05	Volumen	(cm <sup>3</sup> )	102.50
Peso específico	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso	(gr.)	166.26
Densidad Natural	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.622	Densidad Seca	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.596
Humedad	(%)	1.61	Densidad del agua	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.000
CARGA 1 Kg/cm2			CARGA 2 Kg/cm2		
Carga (kg/cm2)	L. dial (0.01 mm)	altura de la muestra (cm)	Carga (kg/cm2)	L. dial (0.01 mm)	altura de la muestra (cm)
0.01	0.00	2.05	0.01	0.00	2.050
0.25	60.89	1.99	0.25	62.01	1.988
0.51	74.35	1.98	0.51	75.42	1.975
1.02	91.02	1.96	1.02	91.48	1.959
1.02	128.13	1.92	2.04	111.09	1.939
2.04	146.03	1.90	2.04	148.40	1.902
3.06	156.26	1.89	3.06	158.20	1.89



  
 HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.  
 Hidrogeología, Geotecnia para la Construcción y Minería  
 Tec. Lab. LUIS ANGEL CALIZAYA JAPURA  
 Laboratorio Suelos, Concreto y Pavimento

  
  
 JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. N° 186048

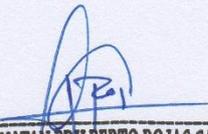
 <p style="text-align: center;">"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"</p>																					
<b>ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL</b>																					
NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333																					
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"																				
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-02																		
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	1/09/2021																		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA																					
Diametro (cm.)	7.98	Area (cm <sup>2</sup> )	50.00																		
Altura (cm.)	2.05	Volumen (cm <sup>3</sup> )	102.50																		
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso (gr.)	166.26																		
Densidad Natural (gr/cm <sup>3</sup> )	1.622	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.596																		
Humedad (%)	1.61	Densidad del agua (gr/cm <sup>3</sup> )	1.000																		
ENSAYO DE COLAPSO A 1 Kg/cm <sup>2</sup>		ENSAYO DE COLAPSO A 2 Kg/cm <sup>2</sup>																			
Carga (kg/cm2)	Relacion de vacios (e)	Carga (kg/cm2)	Relacion de vacios (e)																		
0.01	0.566	0.01	0.566																		
0.25	0.520	0.25	0.519																		
0.51	0.509	0.51	0.509																		
1.02	0.497	1.02	0.496																		
1.02 - saturación de muestra	0.468	2.04	0.481																		
2.04	0.455	2.04 - saturación de muestra	0.453																		
3.06	0.447	3.06	0.445																		
ENSAYOS DE COLAPSO A 1Kg/cm <sup>2</sup> y 2Kg/cm <sup>2</sup>																					
																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ENSAYO DE COLAPSO</th> <th>POTENCIAL DE COLAPSO (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 Kg/cm<sup>2</sup></td> <td>1.81</td> </tr> <tr> <td>2 Kg/cm<sup>2</sup></td> <td>1.82</td> </tr> </tbody> </table>		ENSAYO DE COLAPSO	POTENCIAL DE COLAPSO (%)	1 Kg/cm <sup>2</sup>	1.81	2 Kg/cm <sup>2</sup>	1.82	<table border="1"> <thead> <tr> <th>C.P. (%)</th> <th>Severidad del problema</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>No colapsa</td> </tr> <tr> <td>0.1 a 2</td> <td>Leve</td> </tr> <tr> <td>2.1 a 6</td> <td>Colapso Moderado</td> </tr> <tr> <td>6.1 a 10</td> <td>Moderadamente severo</td> </tr> <tr> <td>&gt;10.0</td> <td>Colapso muy severo</td> </tr> </tbody> </table>		C.P. (%)	Severidad del problema	0	No colapsa	0.1 a 2	Leve	2.1 a 6	Colapso Moderado	6.1 a 10	Moderadamente severo	>10.0	Colapso muy severo
ENSAYO DE COLAPSO	POTENCIAL DE COLAPSO (%)																				
1 Kg/cm <sup>2</sup>	1.81																				
2 Kg/cm <sup>2</sup>	1.82																				
C.P. (%)	Severidad del problema																				
0	No colapsa																				
0.1 a 2	Leve																				
2.1 a 6	Colapso Moderado																				
6.1 a 10	Moderadamente severo																				
>10.0	Colapso muy severo																				
<p><b>Observaciones:</b> El potencial de colapso a 1 Kg/cm<sup>2</sup> es 1.81 %, por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso leve" y el potencial de colapso a 2 Kg/cm<sup>2</sup> es 1.82 %, por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso leve"; según lo propuesto por Clemence y Finbar y definido en la norma peruana E0.50 Suelos y Cimentaciones.</p>																					



 "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"					
ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL					
NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333					
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"				
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA		MUESTRA	C-03	
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA		FECHA	1/09/2021	
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA					
Diametro	(cm.)	7.98	Area	(cm <sup>2</sup> )	50.00
Altura	(cm.)	2.05	Volumen	(cm <sup>3</sup> )	102.50
Peso específico	(gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso	(gr.)	163.59
Densidad Natural	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.596	Densidad Seca	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.571
Humedad	(%)	1.59	Densidad del agua	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.000
CARGA 1 Kg/cm2			CARGA 2 Kg/cm2		
Carga (kg/cm2)	L. Dial (0.01 mm)	Altura de la muestra (cm)	Carga (kg/cm2)	L. Dial (0.01 mm)	altura de la muestra (cm)
0.01	0.00	2.05	0.01	0.00	2.05
0.25	36.23	2.01	0.25	35.00	2.02
0.51	45.92	2.00	0.51	45.00	2.01
1.02	56.00	1.99	1.02	55.20	1.99
1.02	98.86	1.95	2.04	73.21	1.98
2.04	111.48	1.94	2.04	112.42	1.94
3.06	125.00	1.93	3.06	123.90	1.93




 M. GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.  
 Hidrogeología, Geotecnia para la Construcción y Minería  
 Tec. Lab. LUIS ANDREA CALIZAYA JAPURA  
 Laboratorio Suelos Concreto y Pavimento

 JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. N° 186048



"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"

**ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL**

NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333

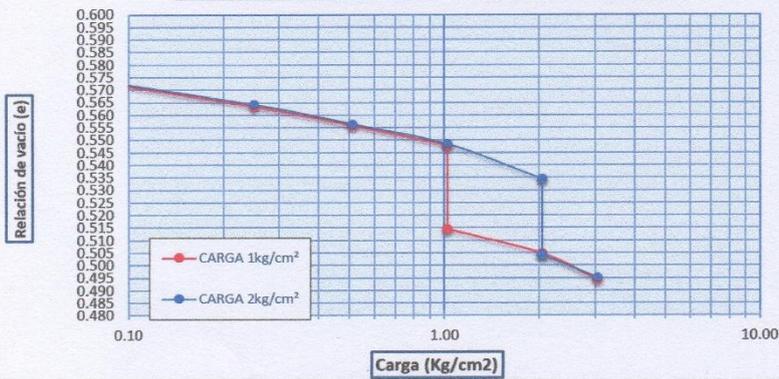
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"		
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-03
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	1/09/2021

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

Diametro (cm.)	7.98	Area (cm <sup>2</sup> )	50.00
Altura (cm.)	2.05	Volumen (cm <sup>3</sup> )	102.50
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso (gr.)	163.59
Densidad Natural (gr/cm <sup>3</sup> )	1.596	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.571
Humedad (%)	1.59	Densidad del agua (gr/cm <sup>3</sup> )	1.000

ENSAYO DE COLAPSO A 1 Kg/cm <sup>2</sup>		ENSAYO DE COLAPSO A 2 Kg/cm <sup>2</sup>	
Carga (kg/cm2)	Relacion de vacios ( e )	Carga (kg/cm2)	Relacion de vacios ( e )
0.01	0.591	0.01	0.591
0.25	0.563	0.25	0.564
0.51	0.556	0.51	0.556
1.02	0.548	1.02	0.548
1.02 - saturación de muestra	0.515	2.04	0.534
2.04	0.505	2.04 - saturación de muestra	0.504
3.06	0.494	3.06	0.495

**ENSAYOS DE COLAPSO A 1Kg/cm<sup>2</sup> y 2Kg/cm<sup>2</sup>**



ENSAYO DE COLAPSO	POTENCIAL DE COLAPSO (%)
1 Kg/cm <sup>2</sup>	2.09
2 Kg/cm <sup>2</sup>	1.91

C.F. (%)	Severidad del problema
0	No colapsa
0.1 a 2	Leve
2.1 a 6	Colapso Moderado
6.1 a 10	Moderadamente severo
>10.0	Colapso muy severo

**Observaciones:** El potencial de colapso a 1 Kg/cm<sup>2</sup> es 2.09 % ,por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso leve" y el potencial de colapso a 2 Kg/cm<sup>2</sup> es 1.91 % ,por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso leve"; según lo propuesto por Clemence y Finbarr y definido en la norma peruana E0.50 Suelos y cimentaciones.

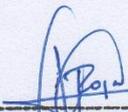


**JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA**  
Ingeniero Civil  
C.I.P. N° 186048

 <p>"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"</p>					
ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL					
NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333					
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"				
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-04		
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	1/09/2021		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA					
Diametro (cm.)	7.98	Area (cm <sup>2</sup> )	50.00		
Altura (cm.)	2.05	Volumen (cm <sup>3</sup> )	102.50		
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso (gr.)	160.00		
Densidad Natural (gr/cm <sup>3</sup> )	1.561	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.536		
Humedad (%)	1.61	Densidad del agua (gr/cm <sup>3</sup> )	1.000		
CARGA 1 Kg/cm2			CARGA 2 Kg/cm2		
Carga (kg/cm2)	L. Dial (0.01 mm)	Altura de la muestra (cm)	Carga (kg/cm2)	L. Dial (0.01 mm)	altura de muestra (cm)
0.01	0.00	2.05	0.01	0.00	2.05
0.25	59.45	1.99	0.25	57.89	1.99
0.51	73.20	1.98	0.51	71.00	1.98
1.02	91.02	1.96	1.02	88.00	1.96
1.02	134.23	1.92	2.04	104.98	1.95
2.04	146.03	1.90	2.04	148.40	1.90
3.06	156.26	1.89	3.06	158.20	1.89




**GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.**  
 Ingenieros, Consultores para la Construcción y Minería  
 Tec. Lab. LUIS ANGEL CALIZAYA JAPURA  
 Laboratorio Suelos, Concreto y Pavimento

**JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA**  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. N° 186048



**"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"**

---

**ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL**

**NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333**

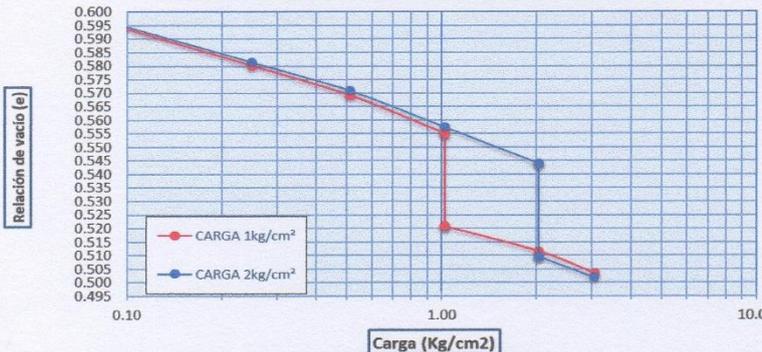
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"		
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-04
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	1/09/2021

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

Diametro (cm.)	7.98	Area (cm <sup>2</sup> )	50.00
Altura (cm.)	2.05	Volumen (cm <sup>3</sup> )	102.50
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso (gr.)	160.00
Densidad Natural (gr/cm <sup>3</sup> )	1.561	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.536
Humedad (%)	1.61	Densidad del agua (gr/cm <sup>3</sup> )	1.000

ENSAYO DE COLAPSO A 1 Kg/cm <sup>2</sup>		ENSAYO DE COLAPSO A 2 Kg/cm <sup>2</sup>	
Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Relacion de vacios (e)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Relacion de vacios (e)
0.01	0.627	0.01	0.627
0.25	0.580	0.25	0.581
0.51	0.569	0.51	0.571
1.02	0.555	1.02	0.557
1.02 - saturación de muestra	0.521	2.04	0.544
2.04	0.511	2.04 - saturación de muestra	0.510
3.06	0.503	3.06	0.502

**ENSAYOS DE COLAPSO A 1Kg/cm<sup>2</sup> y 2Kg/cm<sup>2</sup>**



ENSAYO DE COLAPSO	POTENCIAL DE COLAPSO (%)
1 Kg/cm <sup>2</sup>	2.11
2 Kg/cm <sup>2</sup>	2.12

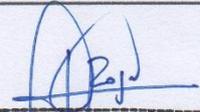
C.P. (%)	Severidad del problema
0	No colapsa
0.1 a 2	Leve
2.1 a 6	Colapso moderado
6.1 a 10	Colapso severo
>10.0	Colapso muy severo

**Observaciones:** El potencial de colapso a 1 Kg/cm<sup>2</sup> es 2.11 % ,por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso moderado" y el potencial de colapso a 2 Kg/m<sup>2</sup> es 2.12 % ,por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso moderado"; según lo propuesto por Clemence y Finbarr y definido en la norma peruana E0.50 Suelos y Cimentaciones.

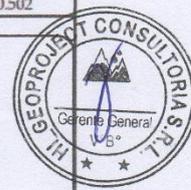


GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.  
Ingeniería y Geotecnia para la Construcción y Minería

Tec. Lab. LUIS ANGEL CALIZAYA JAPURA  
Laboratorio Suelos, Concreto y Pavimento



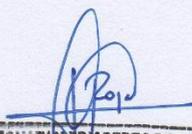
**JONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA**  
Ingeniero Civil  
C.I.P. N° 186048



 <p>"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"</p>					
ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL					
NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333					
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"				
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-05		
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	1/09/2021		
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA					
Diametro (cm.)	7.98	Area (cm <sup>2</sup> )	50.00		
Altura (cm.)	2.05	Volumen (cm <sup>3</sup> )	102.50		
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso (gr.)	164.72		
Densidad Natural (gr/cm <sup>3</sup> )	1.607	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.582		
Humedad (%)	1.59	Densidad del agua (gr/cm <sup>3</sup> )	1.000		
CARGA 1 Kg/cm <sup>2</sup>			CARGA 2 Kg/cm <sup>2</sup>		
Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	L. Dial (0.01 mm)	Altura de la muestra (cm)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	L. Dial (0.01 mm)	altura muestra (cm)
0.01	0.00	2.05	0.01	0.00	2.05
0.25	34.12	2.02	0.25	33.02	2.02
0.51	43.36	2.01	0.51	42.45	2.01
1.02	55.84	1.99	1.02	54.93	2.00
1.02	96.77	1.95	2.04	73.96	1.98
2.04	111.48	1.94	2.04	112.00	1.94
3.06	123.40	1.93	3.06	124.00	1.93




 H. GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.  
 Ingeniería, Geotecnia para la Construcción y Minería  
 Tec. Lab. LUIS ANGEL CALZAYA JAPURA  
 Laboratorio Suelos Concreto y Pavimento

**JONATAN DILBERTO ROJAS CANAZA**  
 Ingeniero Civil  
 C.I.P. N° 186048



"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"

---

### ENSAYO DE COLAPSABILIDAD POTENCIAL

NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333

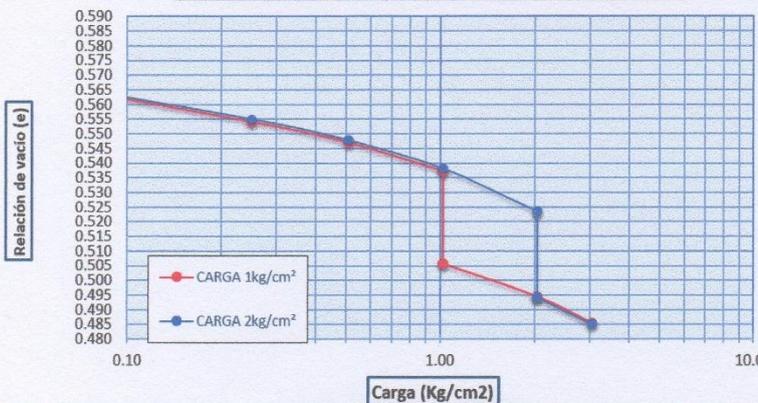
PROYECTO	"EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE COLAPSO EN LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN EL DISTRITO DE CALANA, PROVINCIA DE TACNA, DEPARTAMENTO DE TACNA - 2021"		
UBICACIÓN	CALANA, TACNA, TACNA	MUESTRA	C-05
SOLICITANTE	GIANCARLO ZEGARRA VALENZUELA	FECHA	1/09/2021

**CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA**

Diametro (cm.)	7.98	Area (cm <sup>2</sup> )	50.00
Altura (cm.)	2.05	Volumen (cm <sup>3</sup> )	102.50
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.500	Peso (gr.)	164.72
Densidad Natural (gr/cm <sup>3</sup> )	1.607	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.582
Humedad (%)	1.59	Densidad del agua (gr/cm <sup>3</sup> )	1.000

ENSAYO DE COLAPSO A 1 Kg/cm <sup>2</sup>		ENSAYO DE COLAPSO A 2 Kg/cm <sup>2</sup>	
Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Relacion de vacios (e)	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )	Relacion de vacios (e)
0.01	0.580	0.01	0.580
0.25	0.554	0.25	0.555
0.51	0.547	0.51	0.548
1.02	0.537	1.02	0.538
1.02 - saturación de muestra	0.506	2.04	0.523
2.04	0.494	2.04 - saturación de muestra	0.494
3.06	0.485	3.06	0.485

#### ENSAYOS DE COLAPSO A 1Kg/cm<sup>2</sup> y 2Kg/cm<sup>2</sup>



ENSAYO DE COLAPSO	POTENCIAL DE COLAPSO (%)
1 Kg/cm <sup>2</sup>	2.00
2 Kg/cm <sup>2</sup>	1.86

C.P. (%)	Severidad del problema
0	No colapsa
0.1 a 2	Leve
2.1 a 6	Colapso moderado
6.1 a 10	Colapso severo
>10.0	Colapso muy severo

**Observaciones:** El potencial de colapso a 1 Kg/cm<sup>2</sup> es 2.00 %, por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso leve" y el potencial de colapso a 2 Kg/cm<sup>2</sup> es 1.86 %, por lo tanto, la severidad del problema es catalogado como "Colapso leve"; según lo propuesto por Clemence y Finbar y definido en la norma peruana E050 Suelos y Cimentaciones.

