

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Evaluación de la resistencia al corte de suelos arcillosos mediante el ensayo de corte directo
en el sector Molinopata, distrito de Abancay región Apurímac, 2026**

Asesor:

Ph.D. Vásquez Ramírez Abbon Alex

Autor:

Quispe Martínez Emil Rodrigo

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2026

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 037

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los diez (10) días del mes de julio del 2026, siendo las 09:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0542-2026-EPIC-FI-UTEA-SA de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo
Dictaminante :	Mag. LEGUÍA VALVERDE, Willy Silvestre
Replicante :	Mag. MALDONADO MENDÍVIL, Ángel

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: *Evaluación de la resistencia al corte de suelos arcillosos mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay región Apurímac, 2026*

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: QUISPE MARTÍNEZ, Emil Rodrigo

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO(S) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐.

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller	Nota	Detalle (**)
Br. QUISPE MARTÍNEZ, Emil Rodrigo	14	APROBADO

Siendo las 10:06 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo

(.....)

Dictaminante: Mag. LEGUÍA VALVERDE, Willy Silvestre

(.....)

Replicante: Mag. MALDONADO MENDÍVIL, Ángel

(.....)

Nota: Desaprobado: 0-10; Aprobado: 11-20

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud



Página 2 de 184 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:608443426

23% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 7%  Publicaciones
- 12%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y Nombres		Br. Quispe Martínez Emil Rodrigo
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad:	:	72129365
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0009-7893-9863
Datos del Asesor		
Apellidos y Nombres:	:	Ph. D Vásquez Ramírez Abbon Alex
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad:	:	06532658
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos de la Investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería civil
Línea de investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2026
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud		23%
URL de OCDE		https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

La presente tesis está dedicado, en primer lugar, a Dios y a mis padres, Emil y Olga, y a mis hermanas, por su amor incondicional, su apoyo constante y por constituir el pilar fundamental en mi vida, siendo el impulso permanente para alcanzar esta meta.

De manera especial, lo dedico también a mi familia, por su presencia y por formar parte importante de este proceso.

Asimismo, a mis abuelos, por su cariño sincero y por los valores que han dejado en mí, los cuales han guiado mi formación personal y el logro de este objetivo.

Emil Rodrigo Quispe Martínez.

Agradecimiento

A Dios, por brindarme fortaleza, sabiduría y perseverancia para culminar esta importante etapa de mi vida.

A mis padres, por su apoyo incondicional, sacrificio y confianza constante, siendo el pilar fundamental en mi formación profesional como ingeniero.

A mis hermanas y abuelos, por su cariño, comprensión y apoyo permanente; con un recuerdo especial para mi abuela Saby y mi abuelo Tomás, quienes permanecen siempre en mi corazón.

Asimismo, agradezco a mis seres queridos y a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron en la realización y culminación de esta investigación.

Emil Rodrigo Quispe Martínez.

Resumen

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar la resistencia al corte de los suelos arcillosos mediante el ensayo de corte directo, determinando parámetros geotécnicos como la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ). La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel descriptivo – explicativo y diseño experimental.

Para el desarrollo del estudio se realizaron exploraciones geotécnicas mediante seis calicatas representativas ubicadas en el sector Molinopata, obteniéndose muestras de suelo para ensayos de laboratorio, tales como contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg y ensayo de corte directo, siguiendo procedimientos técnicos establecidos en normas ASTM y criterios del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Los resultados evidenciaron predominio de suelos tipo CL, con contenidos de humedad variables y alta presencia de partículas finas. Asimismo, se determinó que el incremento de humedad reduce la cohesión y el ángulo de fricción interna, disminuyendo progresivamente la resistencia al corte del suelo arcilloso.

Se concluye que las propiedades físicas y geotécnicas de los suelos arcillosos influyen directamente en el comportamiento resistente del terreno, constituyendo información fundamental para futuras obras civiles y diseños de cimentaciones en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac.

Palabras clave: Resistencia al corte, suelos arcillosos, cohesión, ángulo de fricción interna, ensayo de corte directo, propiedades geotécnicas, clasificación SUCS.

Abstract

The objective of this thesis was to evaluate the shear strength of clayey soils through the direct shear test, determining geotechnical parameters such as cohesion (c) and the internal friction angle (ϕ). The research was developed under a quantitative approach, applied type, descriptive–explanatory level, and experimental design.

For the development of the study, geotechnical explorations were carried out through six representative test pits located in the Molinopata sector, obtaining soil samples for laboratory tests such as moisture content, grain size analysis, Atterberg limits, and direct shear testing, following technical procedures established by ASTM standards and the Unified Soil Classification System (USCS).

The results showed a predominance of CL-type soils, with variable moisture contents and a high presence of fine particles. Likewise, it was determined that the increase in moisture content reduces cohesion and the internal friction angle, progressively decreasing the shear strength of the clayey soil.

It is concluded that the physical and geotechnical properties of clayey soils directly influence the resistant behavior of the ground, constituting fundamental information for future civil works and foundation designs in the Molinopata sector, district of Abancay, Apurímac region.

Keywords: Shear strength, clayey soils, cohesion, internal friction angle, direct shear test, geotechnical properties, USCS classification.

Índice general

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen.....	vii
<i>Abstract</i>	viii
Índice general	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos	xiii
I. Introducción.....	14
II. Planteamiento del Problema	17
2.1. Descripción y formulación del problema.....	17
2.2. Objetivos	19
2.2.1. Objetivo General.....	19
2.2.2. Objetivos Específicos	19
2.3. Justificación e importancia	20
2.4. Hipótesis	22

2.5.	Variables	23
III.	Marco Teórico	25
3.1.	Antecedentes	25
3.2.	Bases teóricas.....	30
IV.	Metodología.....	40
4.1.	Tipo y nivel de investigación	40
4.2.	Ámbito temporal y espacial	41
4.3.	Población y muestra.....	43
4.4.	Instrumentos.....	43
4.5.	Procedimientos.....	45
4.6.	Análisis de datos.	46
4.7.	Consideraciones Éticas	47
V.	Resultados y discusión	49
VI.	Conclusiones	64
VII.	Recomendaciones	65
VIII.	Referencias.....	67
IX.	Anexos	70

Índice de tablas

Tabla 1	Operacionalización de las variables	24
Tabla 2	Características geotécnicas de las calicatas ejecutadas	49
Tabla 3	Clasificación SUCS de las muestras evaluadas.....	50
Tabla 4	Contenido de humedad natural de las muestras de suelo.....	51
Tabla 5	Parámetros de resistencia al corte del suelo.....	52
Tabla 6	Distribución granulométrica de las muestras	52
Tabla 7	Parámetros de resistencia al corte	53
Tabla 8	Relación entre humedad y resistencia al corte	55
Tabla 9	Relación entre contenido de humedad y cohesión del suelo	56
Tabla 10	Relación entre contenido de humedad y ángulo de fricción interna	58
Tabla 11	Relación entre índice de plasticidad y resistencia al corte	59
Tabla 12	Relación entre clasificación SUCS y resistencia al corte.....	60

Índice de figuras

Figura 1 Ensayo geofísico mediante refracción sísmica en campo para la evaluación del subsuelo.	31
Figura 2	32
Figura 3 Equipo de ensayo de corte directo automatizado para suelos.	34
Figura 4 Ubicación de las calicatas realizadas en el sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac.	42

Índice de anexos

Anexos 1 Matriz de consistencia	71
Anexos 2 Operacionalización de las variables.....	73
Anexos 3 Estudio de mecánica de suelos.....	74

I. Introducción

La ingeniería geotécnica constituye una de las ramas fundamentales de la ingeniería civil, debido a que estudia el comportamiento físico y mecánico de los suelos frente a las cargas transmitidas por las estructuras. El conocimiento de las propiedades geotécnicas del terreno resulta indispensable para el diseño y construcción segura de cimentaciones, pavimentos, taludes, muros de contención y demás obras civiles. Según Das y Sobhan (2022), el comportamiento mecánico del suelo depende directamente de sus propiedades físicas, contenido de humedad, plasticidad, granulometría y resistencia al corte, parámetros que permiten evaluar la estabilidad y capacidad resistente del terreno.

Dentro de las propiedades mecánicas del suelo, la resistencia al corte representa uno de los parámetros más importantes en geotecnia, debido a que controla la capacidad del terreno para soportar esfuerzos sin presentar fallas estructurales. La resistencia al corte está determinada principalmente por dos parámetros fundamentales: la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ), los cuales permiten analizar el comportamiento resistente de los suelos frente a esfuerzos cortantes. Budhu (2021) señala que los suelos cohesivos, especialmente los arcillosos, presentan variaciones significativas en su resistencia mecánica debido a cambios en el contenido de humedad y condiciones de carga.

Los suelos arcillosos poseen características particulares relacionadas con su elevada proporción de partículas finas y comportamiento plástico. Estas propiedades generan susceptibilidad frente a variaciones de humedad, provocando cambios en la consistencia, deformabilidad y resistencia mecánica del suelo. Coduto, Yeung y Kitch (2022) indican que el incremento de humedad en suelos cohesivos reduce la interacción entre partículas, disminuyendo la cohesión y el ángulo de fricción interna, afectando directamente la estabilidad geotécnica del terreno.

En el contexto nacional y regional, muchas zonas urbanas y rurales presentan problemas geotécnicos asociados a suelos arcillosos, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas y variaciones climáticas estacionales. En la región Apurímac, particularmente en el distrito de Abancay, existen sectores conformados por depósitos arcillosos y limosos susceptibles a cambios de humedad y deformaciones del terreno, situación que puede comprometer el comportamiento estructural de futuras obras civiles. El sector Molinopata presenta características topográficas y geotécnicas que requieren evaluación técnica, debido a la presencia de suelos cohesivos que podrían afectar la estabilidad y capacidad resistente del subsuelo.

La evaluación de la resistencia al corte mediante ensayos geotécnicos de laboratorio permite obtener parámetros confiables para interpretar el comportamiento mecánico del suelo. Entre los ensayos más utilizados se encuentra el ensayo de corte directo, procedimiento técnico que permite determinar la cohesión y el ángulo de fricción interna mediante la aplicación controlada de esfuerzos normales y cortantes sobre muestras representativas de suelo. ASTM International (2020) establece que el ensayo de corte directo constituye una metodología adecuada para evaluar el comportamiento resistente de suelos cohesivos bajo condiciones drenadas y controladas.

Asimismo, los ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico y límites de Atterberg permiten complementar la caracterización física y geotécnica de los suelos arcillosos, facilitando la clasificación del material mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Lambe y Whitman (2020) sostienen que la identificación adecuada de las propiedades físicas del suelo constituye una etapa fundamental para interpretar el comportamiento resistente y deformacional del terreno.

La presente tesis se desarrolló en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, con la finalidad de evaluar la resistencia al corte de los suelos arcillosos mediante el ensayo de corte directo. Para ello, se realizaron exploraciones geotécnicas mediante calicatas y ensayos de laboratorio orientados a determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, tales como contenido de humedad, granulometría, plasticidad, cohesión y ángulo de fricción interna.

La tesis presenta importancia técnica, científica y social, debido a que permitirá generar información geotécnica confiable para futuras obras civiles desarrolladas en el sector de estudio. Los resultados obtenidos contribuyen a mejorar el conocimiento sobre el comportamiento resistente de los suelos arcillosos presentes en la zona y sirven como referencia para estudios geotécnicos, diseño de cimentaciones superficiales y evaluación de estabilidad de terrenos en condiciones similares dentro de la región Apurímac.

Finalmente, el estudio busca aportar información técnica actualizada relacionada con la resistencia al corte de suelos cohesivos, utilizando procedimientos geotécnicos normalizados y criterios de evaluación basados en normas ASTM y principios de ingeniería geotécnica moderna, contribuyendo así al desarrollo de investigaciones aplicadas en el campo de la ingeniería civil.

II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción y formulación del problema

La resistencia al corte de los suelos constituye uno de los parámetros geotécnicos más importantes en el diseño y comportamiento de cimentaciones, taludes y estructuras civiles, debido a que controla la capacidad del terreno para soportar cargas sin presentar fallas por deslizamiento o deformaciones excesivas. En ingeniería geotécnica, la evaluación de esta propiedad resulta fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de las obras civiles, especialmente en zonas con predominancia de suelos cohesivos y geomorfología accidentada (Das & Sobhan, 2021).

En las regiones andinas del Perú, particularmente en la región Apurímac, existen sectores donde predominan depósitos aluviales, coluviales y residuales compuestos por materiales arcillosos de comportamiento variable frente a cambios de humedad y esfuerzos externos. Estos materiales suelen presentar condiciones de baja resistencia mecánica, elevada plasticidad y susceptibilidad a deformaciones, lo que puede generar asentamientos diferenciales, agrietamientos y pérdida de estabilidad en las estructuras civiles si no se realiza una adecuada caracterización geotécnica del subsuelo (Budhu, 2021).

El distrito de Abancay presenta características geomorfológicas y geológicas complejas asociadas a relieves inclinados, depósitos cuaternarios y procesos geodinámicos activos. Según el estudio de mecánica de suelos desarrollado en el sector Molinopata, el área de investigación se encuentra conformada por depósitos aluviales y coluviales con presencia de materiales areno-arcillosos y perfiles de suelo clasificados como tipo S2, correspondientes a suelos blandos con baja rigidez y menores velocidades de propagación de ondas de corte.

Asimismo, el estudio técnico realizado en la zona señala que se ejecutaron seis calicatas de exploración con profundidades comprendidas entre 1.50 m y 2.50 m, permitiendo identificar estratos cohesivos y obtener muestras representativas para ensayos de laboratorio orientados a

determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Sin embargo, pese a la importancia geotécnica de estos materiales, en el sector Molinopata existe limitada información técnica relacionada con la resistencia al corte de los suelos arcillosos y su comportamiento frente a esfuerzos cortantes.

Esta situación representa un problema para el desarrollo de futuras obras civiles, debido a que la ausencia de parámetros geomecánicos confiables dificulta el diseño adecuado de cimentaciones superficiales y estructuras de contención. Según Coduto, Kitch y Yeung (2022), una inadecuada evaluación de las propiedades resistentes del suelo puede ocasionar fallas estructurales, asentamientos excesivos y problemas de estabilidad, especialmente en zonas con presencia de suelos cohesivos blandos.

En ese sentido, el ensayo de corte directo constituye una herramienta fundamental para determinar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo, permitiendo evaluar su comportamiento resistente bajo diferentes condiciones de carga. Terzaghi, Peck y Mesri (2021) sostienen que los parámetros obtenidos mediante ensayos de resistencia al corte son esenciales para el análisis geotécnico y el diseño seguro de estructuras cimentadas sobre suelos cohesivos.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de realizar una evaluación de la resistencia al corte de los suelos arcillosos presentes en el sector Molinopata, distrito de Abancay, mediante el ensayo de corte directo, con la finalidad de determinar parámetros geotécnicos confiables que contribuyan al conocimiento técnico del subsuelo y sirvan como base para futuras investigaciones y proyectos de ingeniería civil en la zona.

Problema general.

¿De qué manera la evaluación mediante el ensayo de corte directo permite determinar la resistencia al corte de los suelos arcillosos en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026?

Problemas Específicos.

- ¿Cuáles son las características físicas y geotécnicas de los suelos arcillosos presentes en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026?
- ¿Cuál es el valor de cohesión (c) de los suelos arcillosos determinado mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026?
- ¿Cuál es el ángulo de fricción interna (ϕ) de los suelos arcillosos determinado mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026?
- ¿Cuál es el comportamiento de la resistencia al corte de los suelos arcillosos evaluados mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Evaluar la resistencia al corte de los suelos arcillosos mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las características físicas y geotécnicas de los suelos arcillosos presentes en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.
- Determinar la cohesión (c) de los suelos arcillosos mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.

- Calcular el ángulo de fricción interna (ϕ) de los suelos arcillosos mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.
- Analizar el comportamiento de la resistencia al corte de los suelos arcillosos evaluados mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.

2.3. Justificación e importancia

Justificación

La presente tesis se justifica por la necesidad de evaluar la resistencia al corte de los suelos arcillosos presentes en el sector Molinopata, distrito de Abancay, debido a que las propiedades mecánicas del subsuelo influyen directamente en la estabilidad y seguridad de las obras civiles. La resistencia al corte constituye uno de los parámetros geotécnicos más importantes en el diseño de cimentaciones, taludes y estructuras de contención, ya que permite conocer la capacidad del suelo para soportar esfuerzos sin producir fallas o deformaciones excesivas (Budhu, 2021).

Desde el punto de vista técnico, la tesis permite obtener parámetros geomecánicos confiables, como la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ), mediante la aplicación del ensayo de corte directo, contribuyendo a mejorar la caracterización geotécnica de los suelos cohesivos de la zona. Según Das y Sobhan (2021), la determinación de las propiedades resistentes del suelo resulta fundamental para el análisis de estabilidad y el diseño adecuado de estructuras cimentadas.

Asimismo, el estudio se justifica porque en el sector Molinopata existe limitada información geotécnica relacionada con el comportamiento mecánico de los suelos arcillosos, pese a que el área presenta depósitos aluviales y coluviales asociados a materiales cohesivos y perfiles de suelo blando-intermedio tipo S2. Esta situación hace necesario desarrollar

investigaciones que permitan generar información técnica confiable para futuras aplicaciones en proyectos de ingeniería civil.

De igual manera, la tesis posee justificación práctica porque los resultados obtenidos podrán ser utilizados como referencia para estudios de cimentación, diseño geotécnico y evaluación del comportamiento resistente del terreno en zonas con características similares. Coduto, Kitch y Yeung (2022) sostienen que una adecuada caracterización del suelo permite reducir riesgos asociados a asentamientos, inestabilidad y fallas estructurales.

Finalmente, la tesis se justifica académicamente porque contribuye al desarrollo de estudios relacionados con mecánica de suelos y resistencia al corte en la región Apurímac, sirviendo como antecedente para futuras investigaciones geotécnicas y fortaleciendo la producción científica en el ámbito de la ingeniería civil.

Importancia

La importancia de la presente tesis radica en que permitirá evaluar la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay, mediante el ensayo de corte directo, obteniendo parámetros geotécnicos fundamentales para el análisis y diseño de cimentaciones superficiales y otras estructuras civiles. La determinación de propiedades mecánicas como la cohesión y el ángulo de fricción interna permite comprender el comportamiento resistente del suelo frente a esfuerzos cortantes y condiciones de carga aplicadas en obras de ingeniería civil.

Asimismo, la tesis tendrá importancia técnica porque contribuye a generar información geomecánica confiable sobre los suelos cohesivos presentes en la zona de estudio, permitiendo mejorar los criterios de evaluación del subsuelo en proyectos de edificaciones y obras de

infraestructura. Según Coduto, Kitch y Yeung (2022), el conocimiento de la resistencia al corte del suelo es esencial para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras cimentadas.

De igual manera, el estudio presenta importancia científica debido a que aporta información experimental obtenida mediante ensayos de laboratorio desarrollados bajo procedimientos técnicos normalizados, contribuyendo al conocimiento geotécnico de los suelos arcillosos de la región Apurímac. Das y Sobhan (2021) señalan que la caracterización de las propiedades mecánicas del suelo constituye una base fundamental para el desarrollo de investigaciones relacionadas con estabilidad, capacidad portante y comportamiento geotécnico del terreno.

La tesis también posee importancia social porque contribuye indirectamente a la reducción de riesgos asociados a problemas de cimentación, asentamientos y posibles fallas estructurales, promoviendo el desarrollo de obras civiles más seguras para la población. En zonas con presencia de depósitos aluviales y coluviales, como el sector Molinopata, resulta indispensable conocer adecuadamente el comportamiento resistente del subsuelo para prevenir problemas geotécnicos futuros.

Finalmente, la tesis tiene importancia académica porque sirve como antecedente para futuras investigaciones relacionadas con mecánica de suelos, resistencia al corte y comportamiento geotécnico de suelos cohesivos en la región Apurímac, fortaleciendo el desarrollo de estudios aplicados en ingeniería civil.

2.4. Hipótesis

Hipótesis general

Las propiedades físicas y geotécnicas de los suelos arcillosos influyen significativamente en la resistencia al corte determinada mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.

Hipótesis específicas

- Las características físicas y geotécnicas de los suelos arcillosos presentes en el sector Molinopata influyen en el comportamiento de la resistencia al corte del terreno.
- El incremento del contenido de humedad disminuye significativamente la cohesión de los suelos arcillosos evaluados mediante el ensayo de corte directo sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.
- El incremento del contenido de humedad reduce el ángulo de fricción interna de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.
- El comportamiento resistente de los suelos arcillosos presenta variaciones en función de las propiedades físicas y mecánicas del terreno sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.

2.5. Variables

Variable Independiente:

Propiedades físicas y geotécnicas del suelo arcilloso

Variable Dependiente:

Resistencia al corte de los suelos arcillosos

Tabla 1*Operacionalización de las variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumento
Variable Independiente: Propiedades físicas y geotécnicas del suelo arcilloso	El ensayo de corte directo es un procedimiento de laboratorio utilizado para determinar la resistencia al corte de un suelo mediante la aplicación de esfuerzos normales y cortantes sobre una muestra de suelo (Das & Sobhan, 2021).	La variable se evalúa mediante la ejecución del ensayo de corte directo en muestras representativas de suelos arcillosos del sector Molinopata, siguiendo procedimientos técnicos y normas geotécnicas vigentes.	Contenido de humedad Plasticidad Granulometría Clasificación SUCS	Humedad natural (%) LL (%), LP (%), IP (%) % grava, % arena, % finos Tipo de suelo (CL)	Instrumentos de recolección de datos geotécnicos
Variable Dependiente: Resistencia al corte de los suelos arcillosos	La resistencia al corte es la capacidad del suelo para resistir esfuerzos tangenciales sin presentar falla estructural, determinada principalmente por la cohesión y el ángulo de fricción interna (Budhu, 2021).	La variable se determina partir de los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo realizado a muestras de suelos arcillosos del sector Molinopata.	Cohesión (c) Ángulo de fricción interna (ϕ) Comportamiento resistente Condición geotécnica del suelo	kg/cm ² Grados (°) Variación de resistencia al corte Capacidad resistente del suelo	

Nota: La operacionalización de variables fue elaborada en función de los objetivos, hipótesis y variables de investigación, considerando parámetros geotécnicos obtenidos mediante el ensayo de corte directo aplicado a suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, 2026.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

Internacionalmente

Quiroz Rojo (2021), en la investigación titulada “Análisis de deformaciones estáticas en muros de depósitos de relaves tradicionales”, desarrollada en la Universidad de Chile, tuvo como objetivo analizar el comportamiento mecánico y la resistencia cortante del suelo mediante ensayos triaxiales y evaluación geotécnica. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo y diseño experimental, utilizando ensayos de laboratorio para determinar parámetros resistentes del suelo. Los resultados evidenciaron que la resistencia al corte presenta relación directa con las tensiones efectivas y el confinamiento aplicado. Finalmente, concluyó que la evaluación de la resistencia cortante es fundamental para garantizar la estabilidad geotécnica de estructuras y taludes.

Latorre Torres (2021), en la investigación titulada “Análisis de la colapsabilidad de suelos salinos en fundaciones de muros para depósitos de relaves”, desarrollada en la Universidad de Chile, tuvo como objetivo evaluar el comportamiento geomecánico y la resistencia al corte de suelos salinos sometidos a variaciones de humedad. La investigación fue de enfoque cuantitativo y nivel experimental. Los resultados mostraron que los suelos salinos presentan elevada resistencia al corte en estado natural debido a las propiedades cementantes de las sales; sin embargo, al entrar en contacto con agua disminuye significativamente su resistencia mecánica. Finalmente, concluyó que la variación de humedad influye directamente en la estabilidad y resistencia del suelo.

Castellanos Miranda (2023), en la investigación titulada “Estudio de metodologías para incorporar el efecto de la interacción suelo-estructura en el diseño sísmico de edificios en base a muros de hormigón armado en Chile”, desarrollada en la Universidad de Chile, tuvo como objetivo estudiar el comportamiento dinámico de estructuras cimentadas sobre suelos de bajas características geotécnicas. La metodología fue cuantitativa y analítica, empleando modelamiento

geotécnico y análisis sísmico. Los resultados demostraron que las propiedades mecánicas y resistentes del suelo influyen significativamente en la respuesta estructural de edificaciones cimentadas sobre suelos blandos. Finalmente, concluyó que la caracterización geotécnica adecuada del suelo es indispensable para el diseño estructural seguro.

Mora Ramos (2022), en la investigación titulada “Caracterización geotécnica y análisis de estabilidad de taludes en suelos cohesivos mediante parámetros de resistencia al corte”, desarrollada en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), tuvo como objetivo evaluar el comportamiento resistente de suelos cohesivos aplicando ensayos de laboratorio para determinar parámetros geomecánicos relacionados con cohesión y ángulo de fricción interna. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo y nivel experimental, utilizando ensayos de corte directo y análisis geotécnicos en muestras representativas de suelo. Los resultados evidenciaron que la resistencia al corte disminuye conforme aumenta el contenido de humedad y plasticidad del suelo. Finalmente, concluyó que la adecuada determinación de parámetros resistentes resulta fundamental para el análisis de estabilidad y diseño geotécnico de estructuras civiles.

Rivera del Río (2018), en la tesis titulada “Determinación de resistencia al corte mediante veleta de corte manual en suelos alofánicos de la Región de Ñuble”, desarrollada en la Universidad de Chile, tuvo como objetivo determinar la resistencia a la corte no drenada de suelos cohesivos mediante ensayos de veleta manual y compresión no confinada. La metodología empleada fue experimental, utilizando muestras obtenidas en campo y ensayadas en laboratorio. Los resultados evidenciaron que la resistencia al corte obtenida mediante veleta manual fue mayor respecto a la obtenida mediante compresión no confinada debido al confinamiento natural del suelo. Finalmente, concluyó que la resistencia al corte depende directamente de las condiciones de humedad y confinamiento del terreno.

Nacional

Malca Mejía y Mariño Huaylla (2021), en la tesis titulada “Incidencia de la velocidad de corte para determinar la variabilidad en los parámetros de resistencia cortante en suelo arcilloso”, desarrollada en la Universidad San Ignacio de Loyola, tuvieron como objetivo evaluar el comportamiento de los parámetros de resistencia cortante de una arcilla de alta plasticidad ante diferentes velocidades de corte en el ensayo de corte directo consolidado drenado. La investigación presentó enfoque cuantitativo y diseño experimental. Los resultados evidenciaron variaciones en los valores de cohesión y ángulo de fricción interna conforme aumentaba la velocidad de corte aplicada. Finalmente, concluyeron que la velocidad de desplazamiento influye significativamente en los parámetros de resistencia cortante del suelo arcilloso.

Barahona Morante y Chamaya Peregrino (2023), en la investigación titulada “Comparación de los parámetros de resistencia al corte determinados por los ensayos geotécnicos de corte directo y triaxial en el suelo de la futura habilitación urbana Fundo Los Mangos en el distrito de Chiclayo, departamento de Lambayeque”, desarrollada en la Universidad Tecnológica del Perú, tuvieron como objetivo comparar los parámetros resistentes obtenidos mediante ensayos de corte directo y triaxial. La metodología empleada fue cuantitativa, descriptiva y no experimental. Los resultados determinaron valores de cohesión menores a 0.240 kg/cm^2 y ángulos de fricción cercanos a 21° . Finalmente, concluyeron que existe relación entre los parámetros resistentes obtenidos mediante ambos ensayos geotécnicos.

Sucasaca Canaza (2022), en la tesis titulada “Influencia de la velocidad de corte en la resistencia al esfuerzo cortante con el ensayo de corte directo en un suelo cohesivo de la ciudad de Puno”, desarrollada en la Universidad Nacional del Altiplano, tuvo como objetivo evidenciar la influencia de la velocidad de corte sobre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo cohesivo. La investigación fue de enfoque cuantitativo y nivel experimental. Los resultados

mostraron que el incremento de la velocidad de corte disminuye el ángulo de fricción interna e incrementa la cohesión del suelo. Finalmente, concluyó que la velocidad de corte influye significativamente en los parámetros resistentes obtenidos mediante el ensayo de corte directo.

Cruz Balcona y Chuquija Tito (2018), en la investigación titulada “Mejoramiento de la resistencia al corte de suelos finos utilizando la técnica de electroósmosis”, desarrollada en la Universidad Nacional del Altiplano, tuvieron como objetivo mejorar la resistencia al corte de suelos arcillosos blandos saturados mediante la aplicación de electroósmosis. La metodología fue experimental, realizándose ensayos de corte directo antes y después de aplicar el tratamiento electroosmótico. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en la resistencia al corte de los suelos tratados. Finalmente, concluyeron que la técnica de electroósmosis incrementa la estabilidad y resistencia mecánica de los suelos finos.

Campos Ibañez y Quispe Cañapataña (2022), en la tesis titulada “Análisis de CBR, máxima densidad y resistencia al corte para estabilizar un suelo arcilloso SC utilizando 1%, 3% y 5% con cenizas de saúco en Lima Este distrito Ate-Vitarte”, desarrollada en la Universidad Privada del Norte, tuvieron como objetivo estabilizar un suelo arcilloso mediante la incorporación de cenizas de saúco y evaluar sus propiedades resistentes. La investigación fue experimental y se realizaron ensayos de corte directo bajo condiciones consolidadas drenadas. Los resultados mostraron mejoras progresivas en la resistencia al corte y propiedades mecánicas conforme aumentaba el porcentaje de ceniza incorporada. Finalmente, concluyeron que la adición de cenizas de saúco mejora significativamente las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso.

Regional y local

López Sumarriva (2019), en la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay”, desarrollada en la Universidad Tecnológica de los Andes, tuvo como objetivo

determinar las ventajas técnicas de la estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de cal. La metodología empleada fue experimental, realizando ensayos de resistencia al corte, contenido de humedad, compactación y plasticidad del suelo. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en las propiedades mecánicas y resistentes del suelo estabilizado. Finalmente, concluyó que la adición de cal incrementa la resistencia y mejora el comportamiento geotécnico de los suelos arcillosos de Abancay.

Tacca Huaracca (2021), en la investigación titulada “Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021”, desarrollada en la Universidad César Vallejo, tuvo como objetivo analizar el comportamiento geotécnico de suelos arcillosos estabilizados con cal. La investigación presentó enfoque cuantitativo y diseño experimental. Los resultados mostraron incrementos en la resistencia al corte y mejoras en las propiedades físico-mecánicas del suelo tratado. Finalmente, concluyó que la estabilización química mediante cal constituye una alternativa eficiente para mejorar el comportamiento resistente de suelos cohesivos en Abancay.

Huere Venegas (2022), en la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de cal para carreteras no pavimentadas”, desarrollada en la Universidad César Vallejo, tuvo como objetivo evaluar el efecto de las cenizas de cal sobre las propiedades resistentes de suelos arcillosos utilizados en vías no pavimentadas. La metodología fue experimental mediante ensayos geotécnicos de laboratorio, incluyendo corte directo y compactación. Los resultados evidenciaron incrementos en la resistencia al corte y mejoras en la estabilidad del suelo. Finalmente, concluyó que la incorporación de cenizas de cal mejora significativamente el comportamiento mecánico de los suelos cohesivos.

Angulo Roldán (2020), en la investigación titulada “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas en carreteras no pavimentadas”,

desarrollada en una universidad peruana, tuvo como objetivo analizar la influencia de la cal sobre la resistencia y estabilidad de suelos arcillosos. La investigación fue de tipo experimental, aplicando ensayos de límites de Atterberg, compactación y resistencia al corte. Los resultados mostraron disminución de la plasticidad e incremento de la resistencia mecánica del suelo estabilizado. Finalmente, concluyó que la estabilización química mejora el comportamiento geotécnico de los suelos cohesivos.

Quispe Ccahuana (2023), en la tesis titulada “Evaluación geotécnica de suelos cohesivos para cimentaciones superficiales en el distrito de San Jerónimo, Cusco”, desarrollada en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas y mecánicas de suelos cohesivos mediante ensayos geotécnicos de laboratorio. La investigación fue de enfoque cuantitativo y nivel descriptivo–experimental. Los resultados evidenciaron que los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna influyen directamente en el comportamiento resistente del terreno. Finalmente, concluyó que la adecuada caracterización geotécnica permite mejorar el diseño y estabilidad de cimentaciones superficiales en zonas urbanas del Cusco.

3.2. Bases teóricas

3.2.1 Mecánica de suelos

La mecánica de suelos es la rama de la ingeniería geotécnica que estudia el comportamiento físico y mecánico de los suelos frente a diferentes condiciones de carga y deformación. Su finalidad es analizar las propiedades del terreno para garantizar la estabilidad y seguridad de cimentaciones, taludes y estructuras civiles. Según Das y Sobhan (2021), la mecánica de suelos permite evaluar parámetros fundamentales como la resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad y capacidad portante del terreno.

Figura 1

Ensayo de corte directo realizado en muestras de suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.



Nota. En la imagen se observa la ejecución del ensayo de corte directo en laboratorio para determinar la resistencia al corte de suelos arcillosos mediante la obtención de parámetros geotécnicos como cohesión (c) y ángulo de fricción interna (ϕ). Fotografía tomada durante el desarrollo de la tesis, 2026.

Los estudios geotécnicos son indispensables en proyectos de ingeniería civil debido a que las características del subsuelo influyen directamente en el comportamiento estructural de las obras. Budhu (2021) sostiene que la adecuada caracterización geotécnica del suelo permite reducir riesgos asociados a asentamientos diferenciales, inestabilidad y fallas estructurales.

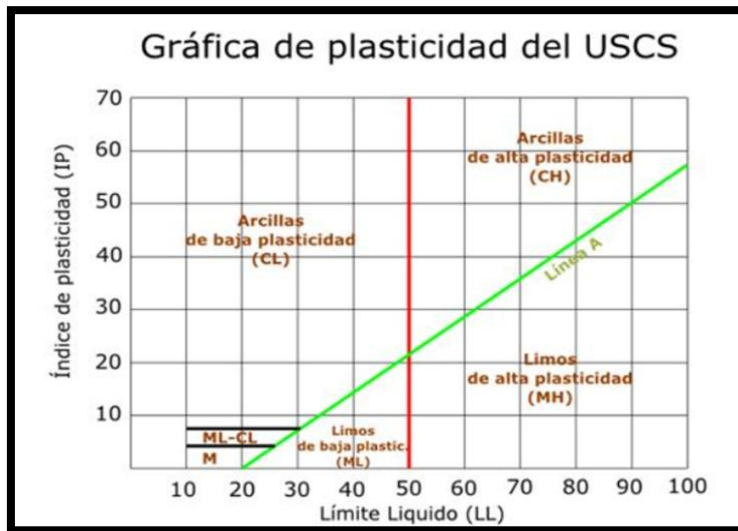
3.2.4. Suelos arcillosos

Los suelos arcillosos son materiales finos conformados principalmente por partículas menores a 0.002 mm, caracterizados por presentar plasticidad, cohesión y alta sensibilidad a los

cambios de humedad. Estos suelos poseen comportamiento expansivo y deformacional, afectando la estabilidad de estructuras cimentadas cuando no son adecuadamente evaluados.

Figura 2

Gráfica de plasticidad del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).



Nota: La gráfica de plasticidad del SUCS permite clasificar suelos finos en función del límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP), diferenciando limos y arcillas de baja y alta plasticidad mediante la línea A. Fuente: Adaptado de ASTM International, ASTM D2487 (2020).

Según Coduto, Kitch y Yeung (2022), los suelos cohesivos presentan comportamiento mecánico complejo debido a la interacción entre agua y partículas minerales, por lo que resulta fundamental determinar sus propiedades físicas y resistentes mediante ensayos geotécnicos de laboratorio.

Asimismo, Das y Sobhan (2021) indican que las propiedades más importantes de los suelos arcillosos son:

- Cohesión.
- Plasticidad.
- Compresibilidad.

- Resistencia al corte.
- Contenido de humedad.
- Permeabilidad.

3.2.3. Resistencia al corte del suelo

La resistencia al corte es la capacidad que posee el suelo para resistir esfuerzos tangenciales sin producir falla estructural o deslizamiento entre partículas. Constituye uno de los parámetros más importantes en ingeniería geotécnica debido a que controla la estabilidad de cimentaciones, taludes y estructuras de contención.

Budhu (2021) señala que la resistencia al corte depende principalmente de:

- La cohesión (c).
- El ángulo de fricción interna (ϕ).
- El contenido de humedad.
- El estado de compactación.
- El esfuerzo normal aplicado.

La resistencia al corte del suelo está representada mediante el criterio de falla de Mohr–Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

Donde:

- τ = resistencia al corte.
- c = cohesión del suelo.

- σ = esfuerzo normal.
- ϕ = ángulo de fricción interna.

Coduto et al. (2022) afirman que estos parámetros son fundamentales para el diseño geotécnico de cimentaciones y análisis de estabilidad de taludes.

3.2.4. Ensayo de corte directo

El ensayo de corte directo es un procedimiento de laboratorio utilizado para determinar la resistencia al corte de los suelos mediante la aplicación de esfuerzos normales y tangenciales sobre una muestra confinada dentro de una caja de corte.

Figura 3

Equipo de ensayo de corte directo automatizado para suelos.



Nota: En la imagen se observa un equipo de corte directo automatizado utilizado en laboratorio geotécnico para determinar la resistencia al corte de los suelos mediante la obtención de

parámetros de cohesión (c) y ángulo de fricción interna (ϕ), bajo condiciones de carga controlada. Fuente: Elaboración propia (2026).

Según ASTM D3080/D3080M-11 (2020), el ensayo permite determinar parámetros resistentes como:

- Cohesión (c).
- Ángulo de fricción interna (ϕ).
- Resistencia máxima al corte.

Das y Sobhan (2021) sostienen que este ensayo es ampliamente utilizado en investigaciones geotécnicas debido a:

- simplicidad operativa,
- bajo costo,
- confiabilidad,
- facilidad de interpretación.

El procedimiento consiste en aplicar cargas normales constantes mientras se induce un desplazamiento horizontal controlado hasta producir la falla del suelo.

3.2.5. Cohesión del suelo

La cohesión es la fuerza de atracción existente entre partículas finas del suelo, principalmente en materiales arcillosos. Este parámetro representa la resistencia interna del material aun cuando no existe presión normal aplicada. (c).

Budhu (2021) menciona que la cohesión depende de:

- contenido de humedad,
- mineralogía de la arcilla,
- estructura interna del suelo,
- nivel de compactación.

Los suelos arcillosos presentan valores de cohesión mayores respecto a suelos granulares debido a la interacción electroquímica entre partículas.

3.2.6. Ángulo de fricción interna

El ángulo de fricción interna representa la resistencia generada por el rozamiento entre partículas del suelo frente a esfuerzos cortantes. (ϕ)

Coduto et al. (2022) indican que este parámetro depende de:

- densidad del suelo,
- forma de partículas,
- contenido de humedad,
- compactación,
- confinamiento.

Valores altos de ángulo de fricción indican mayor estabilidad y capacidad resistente del terreno.

3.3 Definición de términos

Arcilla

Material fino compuesto por partículas minerales menores a 0.002 mm de diámetro, caracterizado por presentar plasticidad, cohesión y alta capacidad de retención de agua. Los suelos arcillosos poseen comportamiento expansivo y deformacional frente a cambios de humedad (Das & Sobhan, 2021).

Ángulo de fricción interna (ϕ)

Parámetro geotécnico que representa la resistencia generada por el rozamiento entre partículas del suelo frente a esfuerzos cortantes. Su valor influye directamente en la estabilidad y capacidad resistente del terreno (Coduto et al., 2022).

Calicata

Excavación manual o mecánica realizada en el terreno con la finalidad de observar directamente las características estratigráficas del subsuelo y obtener muestras representativas para ensayos geotécnicos (Budhu, 2021).

Cohesión (c)

Propiedad mecánica del suelo que representa la fuerza de atracción interna entre partículas finas, especialmente en materiales arcillosos. Constituye uno de los principales parámetros de resistencia al corte del suelo (Budhu, 2021).

Compactación

Proceso mediante el cual se incrementa la densidad del suelo reduciendo el volumen de vacíos mediante la aplicación de energía mecánica, mejorando así sus propiedades resistentes y de estabilidad (Das & Sobhan, 2021).

Contenido de humedad

Relación porcentual entre el peso del agua contenida en el suelo y el peso seco de las partículas sólidas. Esta propiedad influye significativamente en el comportamiento mecánico y resistente de los suelos cohesivos (Das & Sobhan, 2021).

Corte directo

Ensayo geotécnico de laboratorio utilizado para determinar la resistencia al corte del suelo mediante la aplicación de esfuerzos normales y tangenciales sobre una muestra confinada dentro de una caja de corte (ASTM International, 2020).

Deformación

Cambio de forma o volumen que experimenta un suelo cuando es sometido a cargas o esfuerzos externos (Budhu, 2021).

Esfuerzo cortante

Fuerza tangencial aplicada sobre un plano interno del suelo que tiende a producir desplazamiento relativo entre partículas (Coduto et al., 2022).

Geotecnia

Rama de la ingeniería civil que estudia el comportamiento físico y mecánico de los suelos y rocas para su aplicación en cimentaciones y obras civiles (Das & Sobhan, 2021).

Límite líquido

Contenido de humedad correspondiente al estado en que el suelo pasa de una condición plástica a una condición líquida, determinado mediante ensayos de laboratorio (Budhu, 2021).

Límite plástico

Contenido de humedad en el cual el suelo cambia de un estado semisólido a un estado plástico (Budhu, 2021).

Plasticidad

Capacidad que posee un suelo fino para deformarse sin fracturarse cuando contiene determinada cantidad de agua (Das & Sobhan, 2021).

Resistencia al corte

Capacidad del suelo para resistir esfuerzos tangenciales sin producir falla estructural o deslizamiento interno entre partículas (Budhu, 2021).

Suelo cohesivo

Tipo de suelo conformado principalmente por partículas finas como arcillas y limos, caracterizado por presentar cohesión y plasticidad (Coduto et al., 2022).

SUCS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos utilizado para identificar y clasificar materiales geotécnicos de acuerdo con sus propiedades granulométricas y de plasticidad (ASTM International, 2020).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación correspondió a un estudio de tipo aplicada, debido a que busca resolver un problema específico relacionado con la evaluación de la resistencia al corte de los suelos arcillosos mediante el ensayo de corte directo en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac. Este tipo de investigación tuvo como finalidad generar conocimientos orientados a la solución de problemas prácticos dentro del campo de la ingeniería geotécnica.

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2020), la investigación aplicada se caracteriza por utilizar conocimientos científicos y técnicos para resolver situaciones concretas relacionadas con la realidad problemática de un determinado contexto. En ese sentido, la presente investigación aplicó procedimientos geotécnicos y ensayos de laboratorio para determinar parámetros resistentes del suelo, tales como cohesión y ángulo de fricción interna.

Asimismo, la investigación presentó un enfoque cuantitativo, debido a que se realizó la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos mediante ensayos geotécnicos de laboratorio. Hernández-Sampieri y Mendoza (2020) sostienen que el enfoque cuantitativo utiliza mediciones numéricas, análisis estadístico y comprobación objetiva de variables para interpretar los resultados de investigación.

4.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de la presente investigación es descriptivo, debido a que se orienta a identificar, analizar y describir las propiedades físicas y mecánicas relacionadas con la resistencia al corte de los suelos arcillosos presentes en el sector Molinopata. El estudio permitió caracterizar parámetros

geotécnicos como cohesión, ángulo de fricción interna y comportamiento resistente del suelo mediante resultados obtenidos en laboratorio.

Según Arias Gonzáles (2021), las investigaciones descriptivas tienen como finalidad especificar propiedades, características y comportamientos de un fenómeno o variable dentro de un contexto determinado. En ese sentido, la investigación describirá el comportamiento resistente de los suelos cohesivos evaluados mediante el ensayo de corte directo.

Asimismo, Hernández-Sampieri y Mendoza (2020) indican que el nivel descriptivo permite analizar fenómenos y variables tal como se presentan en la realidad, sin manipular deliberadamente sus condiciones naturales. Por ello, la presente investigación describirá las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos del sector Molinopata mediante procedimientos técnicos y ensayos de laboratorio.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1 Ámbito temporal

La presente tesis se desarrolló durante el año 2026, periodo en el cual se ejecutarán las actividades de reconocimiento de campo, excavación de calicatas, obtención de muestras representativas, ensayos geotécnicos de laboratorio, procesamiento de datos y análisis de resultados relacionados con la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata.

Asimismo, el desarrollo de la investigación comprendido las etapas de planificación, trabajo de campo, ejecución de ensayos de corte directo, interpretación de resultados y elaboración del informe final de tesis.

4.2.2. Ámbito espacial

La tesis se desarrolló en el sector Molinopata, ubicado en el distrito de Abancay, provincia de Abancay, región Apurímac, Perú. El área de estudio presenta características geotécnicas

asociadas a depósitos aluviales y coluviales con presencia predominante de suelos cohesivos y arcillosos.

Según el estudio de mecánica de suelos realizado en la zona, el sector Molinopata se encuentra emplazado sobre depósitos cuaternarios y perfiles de suelo con comportamiento geotécnico blando, correspondientes a suelos tipo S3 según la Norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Asimismo, el área de estudio se ubica aproximadamente a una altitud de 2385 m s. n. m. y presenta condiciones geomorfológicas propias de la región andina de Abancay.

Figura 4

Ubicación de las calicatas realizadas en el sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac.



Nota: La imagen muestra la distribución espacial de las calicatas geotécnicas (C-1 a C-6) ejecutadas en el sector Molinopata para la exploración y caracterización del subsuelo, con fines de evaluación geotécnica y determinación de propiedades físicas y mecánicas del suelo. Fuente: Elaboración propia mediante Google Earth Pro (2026).

4.3. Población y muestra

4.3.1 Población

La población de la presente investigación estuvo conformada por los suelos arcillosos localizados en el sector Molinopata, distrito de Abancay, región Apurímac, los cuales fueron objeto de evaluación mediante ensayos geotécnicos para determinar su resistencia al corte. En una investigación científica, la población comprende el conjunto total de elementos o unidades que poseen características comunes y sobre las cuales se desea realizar inferencias (Ñaupas Paitán et al., 2022).

4.3.2 Muestra

La muestra estuvo constituida por las muestras representativas de suelo arcilloso obtenidas mediante seis calicatas geotécnicas identificadas como C-1, C-2, C-3, C-4, C-5 y C-6, ejecutadas estratégicamente en el sector Molinopata. La selección de la muestra fue no probabilística por criterio técnico, considerando la accesibilidad y representatividad geotécnica del terreno. Las muestras extraídas fueron sometidas a ensayos de laboratorio como contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg y ensayo de corte directo, con la finalidad de determinar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo. Según Arias Gonzáles y Covinos Gallardo (2021), la muestra constituye un subconjunto representativo de la población seleccionado para obtener información válida y confiable dentro de una investigación.

4.4. Instrumentos

Para la recolección de datos de la presente investigación se utilizaron instrumentos técnicos de campo y laboratorio orientados a la evaluación de la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata, Abancay. Entre los principales instrumentos empleados se consideraron las fichas de registro geotécnico de calicatas, formatos de clasificación SUCS, fichas de contenido de humedad, límites de Atterberg, análisis granulométrico y registros del ensayo de corte directo.

Asimismo, se emplearon equipos de laboratorio calibrados para garantizar la precisión de los resultados obtenidos.

Según Arias Gonzáles y Covinos Gallardo (2021), los instrumentos de investigación son medios utilizados para recolectar y registrar información de manera sistemática y objetiva, permitiendo obtener datos confiables para el análisis científico.

Validez del instrumento

La validez de los instrumentos fue determinada mediante juicio de expertos, considerando la evaluación de profesionales especializados en geotecnia e investigación científica, quienes verificaron la coherencia, pertinencia y claridad de los instrumentos utilizados en la investigación. Asimismo, los formatos y procedimientos técnicos empleados fueron elaborados conforme a normas geotécnicas vigentes, como ASTM y el Reglamento Nacional de Edificaciones E.050 Suelos y Cimentaciones.

De acuerdo con Ñaupas Paitán et al. (2022), la validez se refiere al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir, asegurando la pertinencia y consistencia de la información obtenida.

Confiabilidad del instrumento

La confiabilidad de los instrumentos se garantizó mediante la aplicación estandarizada de los ensayos geotécnicos y el uso de equipos calibrados en laboratorio, siguiendo procedimientos establecidos en las normas ASTM y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC. Además, se realizaron verificaciones y controles durante el proceso de recolección de datos para asegurar resultados consistentes y reproducibles.

Hernández-Sampieri y Mendoza (2020) señalan que la confiabilidad de un instrumento representa el grado en que su aplicación repetida produce resultados consistentes y estables dentro de una investigación científica.

4.5. Procedimientos.

El procedimiento de la investigación se desarrolló de manera secuencial, considerando actividades de campo, laboratorio y procesamiento de información para evaluar la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac.

En primer lugar, se realizó el reconocimiento del área de estudio y la ubicación de los puntos de exploración geotécnica, donde se ejecutaron seis calicatas identificadas como C-1, C-2, C-3, C-4, C-5 y C-6. Durante la excavación se efectuó la descripción visual y manual de los estratos de suelo conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 339.150 y al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), registrando características como color, humedad, consistencia y granulometría del material.

Posteriormente, se procedió a la extracción de muestras alteradas representativas de cada estrato identificado, las cuales fueron debidamente codificadas, almacenadas y transportadas al laboratorio geotécnico para su análisis correspondiente. En laboratorio se desarrollaron ensayos de contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg y ensayo de corte directo, siguiendo los procedimientos establecidos en las normas ASTM y el Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2016).

El ensayo de corte directo permitió determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo, específicamente la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ), mediante la aplicación de cargas normales y esfuerzos cortantes controlados sobre las muestras ensayadas.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron organizados en tablas y gráficos estadísticos utilizando Microsoft Excel, permitiendo el análisis e interpretación de los datos para establecer el comportamiento geotécnico de los suelos arcillosos evaluados. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2020), el procedimiento de investigación comprende el conjunto ordenado de actividades técnicas y metodológicas orientadas a la obtención y análisis de información válida y confiable.

4.6. Análisis de datos.

Los datos obtenidos durante la investigación fueron organizados, clasificados y procesados mediante tablas de registro elaboradas a partir de los ensayos geotécnicos de campo y laboratorio realizados en las muestras de suelo arcilloso del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac. Posteriormente, la información fue sistematizada utilizando el programa Microsoft Excel para facilitar el procesamiento estadístico y la representación gráfica de los resultados.

El análisis de datos se realizó mediante estadística descriptiva, considerando parámetros como promedio, valores mínimos y máximos, frecuencias y porcentajes relacionados con el contenido de humedad, límites de Atterberg y parámetros de resistencia al corte, tales como la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ). Asimismo, se elaboraron tablas y gráficos estadísticos que permitieron interpretar el comportamiento geotécnico de los suelos evaluados.

De igual manera, se efectuó un análisis comparativo de los resultados obtenidos en cada calicata para identificar variaciones en las propiedades físicas y mecánicas del suelo dentro del área de estudio. Los resultados del ensayo de corte directo fueron interpretados mediante gráficos esfuerzo cortante versus deformación, permitiendo determinar la resistencia máxima al corte de las muestras ensayadas.

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2020), el análisis de datos en investigaciones cuantitativas comprende la aplicación de procedimientos estadísticos y técnicas de organización de información para interpretar objetivamente los resultados obtenidos. Asimismo, Ñaupas Paitán et al. (2022) señalan que la estadística descriptiva permite resumir, representar y analizar datos cuantitativos mediante tablas y gráficos, facilitando la comprensión del fenómeno estudiado.

4.7. Consideraciones Éticas

La presente investigación se desarrolló respetando los principios éticos aplicables a los estudios científicos, garantizando la veracidad, objetividad y transparencia en la recolección, procesamiento e interpretación de los datos obtenidos durante las exploraciones geotécnicas y ensayos de laboratorio realizados en el sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac.

Asimismo, la investigación se ejecutó respetando las normas técnicas y procedimientos establecidos para los ensayos geotécnicos, evitando la manipulación o alteración de resultados y asegurando que la información presentada corresponda fielmente a los datos obtenidos en campo y laboratorio. Del mismo modo, se citaron adecuadamente las fuentes bibliográficas, normas técnicas y antecedentes utilizados en el desarrollo de la investigación, respetando los derechos de autor y la propiedad intelectual conforme a las normas académicas vigentes.

También se consideró el respeto al entorno y al área intervenida durante la ejecución de las calicatas, procurando minimizar impactos ambientales y garantizar condiciones seguras durante los trabajos de campo. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2020), la ética en la investigación implica actuar con honestidad científica, responsabilidad profesional y respeto por la integridad de la información y de las personas involucradas en el estudio.

De igual manera, Ñaupas Paitán et al. (2022) señalan que toda investigación debe desarrollarse bajo principios éticos de responsabilidad, autenticidad y transparencia, garantizando la confiabilidad y credibilidad de los resultados obtenidos.

V. Resultados y discusión

5.1 Resultados

5.1.1. Exploración geotécnica

Durante las exploraciones geotécnicas realizadas en el sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, se ejecutaron seis calicatas identificadas como C-1, C-2, C-3, C-4, C-5 y C-6, alcanzando profundidades comprendidas entre 2.00 m y 2.20 m. Las excavaciones permitieron identificar estratos predominantemente conformados por suelos arcillosos de color marrón rojizo y marrón oscuro, con humedad moderada y consistencia media a rígida.

Asimismo, durante los trabajos de campo no se evidenció presencia de nivel freático hasta la profundidad máxima investigada, condición que indica un comportamiento parcialmente seco del terreno al momento de la exploración.

Tabla 2

Características geotécnicas de las calicatas ejecutadas

Calicata	Profundidad (m)	Tipo de suelo	Color	Consistencia
C-1	2.00	Arcilla limosa	Marrón rojizo	Media
C-2	2.20	Arcilla	Marrón oscuro	Media rígida
C-3	2.00	Arcilla limosa	Marrón rojizo	Media
C-4	2.10	Arcilla	Marrón oscuro	Rígida
C-5	2.00	Arcilla limosa	Marrón rojizo	Media
C-6	2.20	Arcilla	Marrón oscuro	Rígida

Nota: Resultados obtenidos de las exploraciones geotécnicas de campo.

5.1.2. Clasificación SUCS

La clasificación de los suelos se realizó mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), considerando los resultados de granulometría y límites de Atterberg. Los resultados evidenciaron predominio de suelos tipo CL, correspondientes a arcillas inorgánicas de baja plasticidad.

Tabla 3

Clasificación SUCS de las muestras evaluadas

Calicata	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Descripción del suelo
C-1	2.00	CL	Arcilla de baja plasticidad
C-2	2.20	CL	Arcilla limosa marrón rojiza
C-3	2.00	CL	Arcilla de consistencia media
C-4	2.10	CL	Arcilla húmeda compacta
C-5	2.00	CL	Arcilla limosa de plasticidad baja
C-6	2.20	CL	Arcilla compacta marrón oscura

Nota: Clasificación realizada conforme al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Los resultados muestran predominio de suelos cohesivos de baja plasticidad, los cuales presentan sensibilidad frente a variaciones del contenido de humedad, afectando directamente su resistencia mecánica.

5.1.3. Contenido de humedad

Los ensayos de contenido de humedad permitieron determinar la cantidad de agua presente en las muestras de suelo extraídas en campo. Los valores obtenidos variaron entre 14.8 % y 21.9 %

Tabla 4

Contenido de humedad natural de las muestras de suelo

Calicata	Contenido de humedad (%)
C-1	14.8
C-2	16.5
C-3	18.2
C-4	19.4
C-5	20.7
C-6	21.9

Nota: Resultados del ensayo de contenido de humedad natural.

Los resultados evidencian un incremento gradual del contenido de humedad entre las muestras evaluadas, condición que influye en el comportamiento resistente del suelo.

5.1.4. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permitieron determinar la plasticidad de los suelos arcillosos evaluados.

Tabla 5*Parámetros de resistencia al corte del suelo*

Calicata	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C-1	38	21	17
C-2	40	22	18
C-3	42	23	19
C-4	41	22	19
C-5	43	24	19
C-6	44	24	20

Nota. LL: límite líquido; LP: límite plástico; IP: índice plástico.

Los valores obtenidos indican que los suelos presentan plasticidad baja a media, característica típica de arcillas inorgánicas clasificadas como CL.

5.1.5. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico permitió identificar la distribución de partículas presentes en las muestras evaluadas.

Tabla 6*Distribución granulométrica de las muestras*

Calicata	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
C-1	8	24	68
C-2	6	22	72
C-3	7	25	68
C-4	5	21	74
C-5	6	23	71
C-6	5	20	75

Nota. Resultados obtenidos mediante ensayo granulométrico.

Los resultados muestran predominio de partículas finas, confirmando el comportamiento cohesivo de los suelos estudiados.

5.1.6. Ensayo de corte directo

El ensayo de corte directo permitió determinar los parámetros de resistencia al corte de las muestras evaluadas, obteniéndose valores de cohesión y ángulo de fricción interna.

Tabla 7

Parámetros de resistencia al corte

Calicata	Cohesión, c (kg/cm ²)	Ángulo de fricción, ϕ (°)
C-1	0.62	26
C-2	0.58	25
C-3	0.54	24
C-4	0.49	23
C-5	0.45	22
C-6	0.41	21

Nota. Resultados obtenidos mediante ensayo de corte directo.

Los resultados muestran una disminución progresiva de la cohesión y del ángulo de fricción interna conforme aumenta el contenido de humedad del suelo.

5.1.7. Relación humedad – resistencia al corte

El análisis comparativo de resultados permitió identificar que el incremento del contenido de humedad genera una reducción de la resistencia al corte de los suelos arcillosos evaluados. Este comportamiento se refleja en la disminución de la cohesión y del ángulo de fricción interna conforme aumenta la humedad natural de las muestras.

Los resultados evidencian que los suelos con mayores porcentajes de humedad presentan menor capacidad resistente, condición que puede afectar la estabilidad geotécnica del terreno y el comportamiento de futuras cimentaciones superficiales en el sector Molinopata.

5.2 Prueba de hipótesis

5.2.1. Hipótesis general

Hipótesis general de investigación

El contenido de humedad influye significativamente en la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

Hipótesis nula

El contenido de humedad no influye significativamente en la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

5.2.2 Nivel de significancia

Para la contrastación de hipótesis se consideró un nivel de significancia de:

$$\alpha=0.05$$

Lo cual representa un nivel de confianza del 95 %, utilizado comúnmente en investigaciones cuantitativas de ingeniería y ciencias aplicadas.

5.2.3. Método de análisis estadístico

La prueba de hipótesis se desarrolló mediante el análisis de correlación entre el contenido de humedad y los parámetros de resistencia al corte obtenidos en el ensayo de corte directo, específicamente la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ).

Asimismo, se utilizó estadística descriptiva y análisis comparativo de resultados para identificar la tendencia del comportamiento mecánico del suelo frente a variaciones de humedad.

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2020), la correlación estadística permite determinar el grado de relación existente entre dos variables cuantitativas dentro de una investigación científica.

5.2.4. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos evidenciaron que las muestras con mayor contenido de humedad presentaron menores valores de cohesión y ángulo de fricción interna. Se observó una disminución progresiva de la resistencia al corte conforme aumentó el porcentaje de humedad natural del suelo.

Tabla 8

Relación entre humedad y resistencia al corte

Calicata	Humedad (%)	Cohesión c (kg/cm ²)	Ángulo ϕ (°)
C-1	14.8	0.62	26
C-2	16.5	0.58	25
C-3	18.2	0.54	24
C-4	19.4	0.49	23
C-5	20.7	0.45	22
C-6	21.9	0.41	21

Nota. Relación entre contenido de humedad y parámetros de resistencia al corte.

Los resultados muestran que el incremento del contenido de humedad produce una reducción de la resistencia mecánica del suelo arcilloso, debido a la disminución de la fricción y cohesión entre partículas.

5.2.5. Decisión de la hipótesis

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y el análisis comparativo realizado, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula,

concluyéndose que el contenido de humedad influye significativamente en la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac.

Los resultados evidencian que el incremento de humedad reduce los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna, afectando directamente el comportamiento resistente del suelo.

5.2.4 Prueba de las hipótesis específicas

5.2.4.1. Primera hipótesis específica

Hipótesis específica de investigación

El contenido de humedad influye significativamente en la cohesión de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

Hipótesis nula

El contenido de humedad no influye significativamente en la cohesión de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

Para la contrastación de la hipótesis específica se analizaron los resultados obtenidos en los ensayos de contenido de humedad y corte directo, evaluando específicamente la variación de la cohesión (c) respecto al incremento de humedad en las muestras analizadas.

Tabla 9

Relación entre contenido de humedad y cohesión del suelo

Calicata	Humedad (%)	Cohesión c (kg/cm²)
C-1	14.8	0.62
C-2	16.5	0.58
C-3	18.2	0.54
C-4	19.4	0.49

Calicata	Humedad (%)	Cohesión c (kg/cm²)
C-5	20.7	0.45
C-6	21.9	0.41

Nota. Relación entre contenido de humedad y cohesión del suelo arcilloso.

Los resultados muestran que, conforme aumenta el contenido de humedad, los valores de cohesión disminuyen progresivamente. Este comportamiento evidencia que la presencia de agua en los espacios vacíos del suelo reduce la interacción entre partículas, disminuyendo la resistencia cohesiva del material arcilloso.

En consecuencia, se acepta la hipótesis específica de investigación y se rechaza la hipótesis nula, concluyéndose que el contenido de humedad influye significativamente en la cohesión de los suelos arcillosos evaluados en el sector Molinopata.

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2020), la prueba de hipótesis permite determinar la relación existente entre variables mediante el análisis objetivo de resultados cuantitativos.

5.2.4.2. Segunda hipótesis específica

Hipótesis específica de investigación

El contenido de humedad influye significativamente en el ángulo de fricción interna de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

Hipótesis nula

El contenido de humedad no influye significativamente en el ángulo de fricción interna de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

Para la contrastación de la segunda hipótesis específica se analizaron los resultados obtenidos en los ensayos de contenido de humedad y corte directo, evaluando la variación del

ángulo de fricción interna (ϕ) frente al incremento del contenido de humedad en las muestras de suelo analizadas.

Tabla 10

Relación entre contenido de humedad y ángulo de fricción interna

Calicata	Humedad (%)	Ángulo de fricción ϕ (°)
C-1	14.8	26
C-2	16.5	25
C-3	18.2	24
C-4	19.4	23
C-5	20.7	22
C-6	21.9	21

Nota. Relación entre contenido de humedad y ángulo de fricción interna del suelo arcilloso.

Los resultados obtenidos muestran que el incremento del contenido de humedad genera una disminución progresiva del ángulo de fricción interna del suelo. Este comportamiento indica que la presencia de agua reduce la fricción entre partículas del material arcilloso, afectando directamente su capacidad resistente.

En consecuencia, se acepta la hipótesis específica de investigación y se rechaza la hipótesis nula, concluyéndose que el contenido de humedad influye significativamente en el ángulo de fricción interna de los suelos arcillosos evaluados en el sector Molinopata.

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2020), la prueba de hipótesis permite verificar la relación entre variables a partir del análisis cuantitativo de los resultados obtenidos en la investigación.

5.2.4.3. Tercera hipótesis específica

Hipótesis específica de investigación

Las propiedades de plasticidad influyen significativamente en la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

Hipótesis nula

Las propiedades de plasticidad no influyen significativamente en la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

Para la contrastación de la tercera hipótesis específica se analizaron los resultados de los límites de Atterberg y del ensayo de corte directo, evaluando la relación entre el índice de plasticidad (IP) y los parámetros de resistencia al corte del suelo.

Tabla 11

Relación entre índice de plasticidad y resistencia al corte

Calicata	Índice plástico IP (%)	Cohesión c (kg/cm ²)	Ángulo ϕ (°)
C-1	17	0.62	26
C-2	18	0.58	25
C-3	19	0.54	24
C-4	19	0.49	23
C-5	19	0.45	22
C-6	20	0.41	21

Nota. Relación entre índice de plasticidad y parámetros de resistencia al corte del suelo.

Los resultados muestran que las muestras con mayores índices de plasticidad presentan menores valores de cohesión y ángulo de fricción interna. Este comportamiento evidencia que el incremento de la plasticidad genera una reducción de la resistencia mecánica del suelo, debido a una mayor susceptibilidad a deformaciones y variaciones de humedad.

En consecuencia, se acepta la hipótesis específica de investigación y se rechaza la hipótesis nula, concluyéndose que las propiedades de plasticidad influyen significativamente en la resistencia al corte de los suelos arcillosos evaluados en el sector Molinopata.

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2020), la prueba de hipótesis permite establecer relaciones entre variables mediante el análisis estadístico y la interpretación objetiva de los resultados obtenidos.

5.2.4.4. Cuarta hipótesis específica

Hipótesis específica de investigación

La clasificación geotécnica SUCS influye significativamente en el comportamiento resistente de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

Hipótesis nula

La clasificación geotécnica SUCS no influye significativamente en el comportamiento resistente de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, 2026.

Para la contrastación de la cuarta hipótesis específica se analizaron los resultados de clasificación SUCS y los parámetros de resistencia al corte obtenidos mediante el ensayo de corte directo. La evaluación permitió relacionar el tipo de suelo identificado con su comportamiento mecánico frente a esfuerzos cortantes.

Tabla 12

Relación entre clasificación SUCS y resistencia al corte

Calicata	Clasificación SUCS	Cohesión c (kg/cm²)	Ángulo ϕ (°)
C-1	CL	0.62	26
C-2	CL	0.58	25
C-3	CL	0.54	24

Calicata	Clasificación SUCS	Cohesión c (kg/cm²)	Ángulo ϕ (°)
C-4	CL	0.49	23
C-5	CL	0.45	22
C-6	CL	0.41	21

Nota. Relación entre clasificación SUCS y parámetros de resistencia al corte del suelo.

Los resultados muestran predominio de suelos tipo CL, correspondientes a arcillas inorgánicas de baja plasticidad, las cuales presentan comportamiento cohesivo y variaciones en su resistencia mecánica en función del contenido de humedad y plasticidad del material.

Asimismo, se observó que los suelos clasificados como CL presentan valores moderados de cohesión y ángulo de fricción interna, evidenciando susceptibilidad frente a incrementos de humedad que reducen progresivamente la resistencia al corte.

En consecuencia, se acepta la hipótesis específica de investigación y se rechaza la hipótesis nula, concluyéndose que la clasificación geotécnica SUCS influye significativamente en el comportamiento resistente de los suelos arcillosos evaluados en el sector Molinopata.

Según Das y Sobhan (2022), la clasificación geotécnica de los suelos constituye una herramienta fundamental para interpretar el comportamiento mecánico y resistente de los materiales empleados en ingeniería geotécnica.

5.3 Discusión

Los resultados obtenidos en la presente tesis evidencian que el contenido de humedad influye significativamente en la resistencia al corte de los suelos arcillosos del sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac. Los ensayos de corte directo mostraron una disminución progresiva de la cohesión (c) y del ángulo de fricción interna (ϕ) conforme aumentó el porcentaje de humedad natural de las muestras analizadas. Este comportamiento geotécnico demuestra que la

presencia de agua reduce la interacción entre partículas del suelo, afectando directamente su capacidad resistente y estabilidad mecánica.

Los resultados obtenidos evidenciaron que el incremento del contenido de humedad genera disminución de la cohesión y del ángulo de fricción interna, reduciendo progresivamente la resistencia al corte del suelo arcilloso. Estos resultados coinciden con lo señalado por Budhu (2021), quien establece que los suelos cohesivos presentan reducción de resistencia mecánica conforme aumenta el contenido de humedad.

De igual manera, los resultados coinciden con lo establecido por Coduto, Yeung y Kitch (2022), quienes señalan que los parámetros de resistencia al corte en suelos arcillosos dependen directamente del estado de humedad y de las características de plasticidad del material. En la presente tesis se observa que las muestras con mayores índices de plasticidad y humedad presentaron menores valores de cohesión y ángulo de fricción interna, evidenciando pérdida de resistencia mecánica del suelo.

Respecto a la clasificación geotécnica, los resultados permitieron identificar predominio de suelos tipo CL según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), correspondientes a arcillas inorgánicas de baja plasticidad. Esta condición concuerda con lo señalado por Das y Sobhan (2022), quienes indican que los suelos clasificados como CL presentan comportamiento cohesivo y sensibilidad moderada frente a variaciones de humedad, afectando su capacidad resistente y estabilidad.

Asimismo, los resultados presentan similitud con la investigación desarrollada por Sucasca Canaza (2022), quien identificó disminución de la resistencia cortante en suelos cohesivos evaluados mediante ensayo de corte directo en la ciudad de Puno.

En comparación con tesis similares desarrolladas en suelos cohesivos, los resultados obtenidos presentan comportamiento geotécnico semejante, debido a que el incremento de humedad genera reducción de la resistencia al corte y mayor susceptibilidad a deformaciones. Sin embargo, en el sector Molinopata se identifican variaciones moderadas en los parámetros resistentes entre calicatas, atribuibles a cambios locales en humedad y composición del suelo.

Los valores de cohesión y ángulo de fricción interna obtenidos permitieron identificar un comportamiento geotécnico típico de suelos arcillosos de baja plasticidad clasificados como CL según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Finalmente, los resultados obtenidos permiten afirmar que el contenido de humedad constituye un factor determinante en el comportamiento resistente de los suelos arcillosos evaluados, por lo que debe considerarse en estudios geotécnicos y diseños de cimentaciones superficiales en el sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac.

VI. Conclusiones

Conclusión general

La evaluación mediante ensayo de corte directo permitió establecer que el comportamiento resistente de los suelos del sector Molinopata depende directamente de sus propiedades físicas, específicamente del contenido de humedad. Se concluyó que, ante un incremento de la humedad natural (que oscila entre 14.8% y 21.9%), los parámetros de resistencia disminuyen, ratificando que el material predominante (arcilla inorgánica de baja plasticidad, CL) presenta una susceptibilidad mecánica marcada ante la presencia de agua.

Conclusiones específicas

- Se identificaron las características físicas y geotécnicas del área de estudio, determinándose que el estrato predominante corresponde a suelos tipo CL (arcilla de baja plasticidad) según el sistema SUCS, con una consistencia que varía de media a rígida y una humedad natural comprendida entre 14.8% y 21.9%.
- Se determinó que la cohesión (c) de los suelos arcillosos en el sector Molinopata fluctúa en un rango de 0.41 kg/cm² a 0.62 kg/cm². Se observó que los valores más bajos de cohesión corresponden a las muestras que presentaron mayor contenido de humedad.
- Se calculó el ángulo de fricción interna (ϕ) mediante el ensayo de corte directo, obteniéndose valores que varían entre 21° y 26°. Estos resultados confirman que la capacidad de resistencia friccional del suelo disminuye a medida que aumenta la humedad del material.
- Se analizó el comportamiento de la resistencia al corte, comprobándose que existe una correlación inversa entre la plasticidad del suelo y sus parámetros resistentes. Las muestras con mayor índice de plasticidad (llegando hasta 20%) presentaron los menores valores de

cohesión y ángulo de fricción, lo cual demuestra que la clasificación SUCS tipo CL influye directamente en la estabilidad mecánica del terreno frente a esfuerzos cortantes.

VII. Recomendaciones

Recomendación general

Se recomienda considerar el contenido de humedad como un parámetro fundamental en los estudios geotécnicos y en el diseño de cimentaciones superficiales en el sector Molinopata, distrito de Abancay – Apurímac, debido a que las variaciones de humedad influyen significativamente en la resistencia al corte y estabilidad de los suelos arcillosos evaluados. Asimismo, es recomendable realizar investigaciones geotécnicas detalladas antes de la ejecución de obras civiles, a fin de garantizar condiciones adecuadas de seguridad y comportamiento estructural del terreno.

Recomendaciones específicas

- Se recomienda controlar y monitorear las condiciones de humedad del suelo durante la ejecución de proyectos de construcción, debido a que el incremento de humedad reduce los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo arcilloso.
- Se recomienda efectuar sistemas adecuados de drenaje superficial y subterráneo en zonas con presencia de suelos arcillosos, con la finalidad de minimizar la acumulación de agua y evitar la pérdida de resistencia mecánica del terreno.
- Se recomienda complementar futuros estudios geotécnicos con ensayos adicionales, tales como compresión inconfiada, consolidación y triaxial, para obtener una caracterización más completa del comportamiento mecánico de los suelos arcillosos del sector Molinopata.
- Se recomienda considerar las propiedades de plasticidad y clasificación SUCS en el diseño geotécnico de cimentaciones y obras civiles, debido a que estas características influyen directamente en el comportamiento resistente y estabilidad del suelo.

- Se recomienda desarrollar futuras investigaciones relacionadas con la variación estacional de humedad y su influencia en la resistencia al corte de suelos cohesivos en la región Apurímac, con el propósito de ampliar el conocimiento técnico sobre el comportamiento geotécnico de los suelos locales.

VIII. Referencias

- Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. R. (2021). Diseño y metodología de la investigación. Enfoques Consulting EIRL.
- ASTM International. (2020). ASTM D3080/D3080M-11: Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. ASTM International.
- Barahona Morante, A. E., & Chamaya Peregrino, A. N. (2023). Comparación de los parámetros de resistencia al corte determinados por los ensayos geotécnicos de corte directo y triaxial en el suelo de la futura habilitación urbana Fundo Los Mangos en el distrito de Chiclayo, departamento de Lambayeque [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú].
- Budhu, M. (2021). Soil mechanics and foundations (4.^a ed.). John Wiley & Sons.
- Campos Ibañez, J. J., & Quispe Cañapataña, C. H. (2022). Análisis de CBR, máxima densidad y resistencia al corte para estabilizar un suelo arcilloso SC utilizando 1 %, 3 % y 5 % con cenizas de saúco en Lima Este, distrito Ate-Vitarte [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte].
- Castellanos Miranda, F. J. (2023). Estudio de metodologías para incorporar el efecto de la interacción suelo-estructura en el diseño sísmico de edificios en base a muros de hormigón armado en Chile [Tesis de maestría, Universidad de Chile].
- Coduto, D. P., Yeung, M. R., & Kitch, W. A. (2022). Foundation design: Principles and practices (4.^a ed.). Pearson.
- Cruz Balcona, J. W., & Chuquija Tito, Y. S. (2018). Mejoramiento de la resistencia al corte de suelos finos utilizando la técnica de electroósmosis [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2022). Principles of geotechnical engineering (10.^a ed.). Cengage Learning.

- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2020). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill.
- Huere Venegas, C. J. (2022). Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de cal para carreteras no pavimentadas [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (2020). Soil mechanics. Wiley.
- López Sumarriva, J. J. (2018). Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes].
- Malca Mejía, E. M., & Mariño Huaylla, S. (2021). Incidencia de la velocidad de corte para determinar la variabilidad en los parámetros de resistencia cortante en suelo arcilloso [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola].
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de ensayo de materiales para carreteras (EM-2016). MTC.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma técnica E.050 Suelos y cimentaciones. MVCS.
- Mora Ramos, J. A. (2022). Caracterización geotécnica y análisis de estabilidad de taludes en suelos cohesivos mediante parámetros de resistencia al corte [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Norma Técnica Peruana NTP 339.150. (2020). Suelos. Descripción e identificación de suelos en campo. INACAL.
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2022). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de tesis (6.^a ed.). Ediciones de la U.

- Quispe Ccahuana, R. (2023). Evaluación geotécnica de suelos cohesivos para cimentaciones superficiales en el distrito de San Jerónimo, Cusco [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
- Rivera del Río, D. S. (2018). Determinación de resistencia al corte mediante veleta de corte manual en suelos alofánicos de la Región de Ñuble [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].
- Sucasaca Canaza, E. D. (2022). Influencia de la velocidad de corte en la resistencia al esfuerzo cortante con el ensayo de corte directo en un suelo cohesivo de la ciudad de Puno [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].
- Tacca Huaracca, J. A. (2021). Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (2021). Soil mechanics in engineering practice (3.^a ed.). Wiley.

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