



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN MUESTRAS DE SUELOS DEL
CANTÓN QUITO, UTILIZANDO LA CAJA DE CORTE DIRECTO EN CONDICIONES
DE HUMEDAD NATURAL Y SATURADA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero e Ingeniera Civil

AUTORES: Alex Mauricio Aimacaña Tumbaco
Sandy Fernanda Toasa Cedeño

TUTOR: Juan Pablo Tarambís Rodríguez

Quito - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alex Mauricio Aimacaña Tumbaco con documento de identificación N° 1724606965 y Sandy Fernanda Toasa Cedeño con documento de identificación N° 1726729930; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 22 de febrero del 2024

Atentamente,



Alex Mauricio Aimacaña Tumbaco
1724606965



Sandy Fernanda Toasa Cedeño
1726729930

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Alex Mauricio Aimacaña Tumbaco con documento de identificación N° 1724606965 y Sandy Fernanda Toasa Cedeño con documento de identificación N° 1726729930; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Parámetros de resistencia al corte en muestras de suelos del Cantón Quito, utilizando la caja de corte directo en condiciones de humedad natural y saturada”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero e Ingeniera Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de febrero del 2024

Atentamente,



Alex Mauricio Aimacaña Tumbaco
1724606965



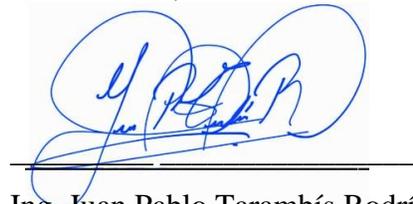
Sandy Fernanda Toasa Cedeño
1726729930

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Tarambís Rodríguez con documento de identificación N° 1715336879, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN MUESTRAS DE SUELOS DEL CANTÓN QUITO, UTILIZANDO LA CAJA DE CORTE DIRECTO EN CONDICIONES DE HUMEDAD NATURAL Y SATURADA, realizado por Alex Mauricio Aimacaña Tumbaco con documento de identificación N° 1724606965 y por Sandy Fernanda Toasa Cedeño con documento de identificación N° 1726729930, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de febrero del 2024

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Tarambís Rodríguez, MSc

1715336879

PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE EN MUESTRAS DE SUELOS DEL CANTÓN QUITO, UTILIZANDO LA CAJA DE CORTE DIRECTO EN CONDICIONES DE HUMEDAD NATURAL Y SATURADA

SHEAR STRENGTH PARAMETERS IN SOIL SAMPLES FROM CANTON QUITO, USING THE DIRECT SHEAR BOX UNDER NATURAL AND SATURATED MOISTURE CONDITIONS

Alex Aimacaña-Tumbaco¹, Sandy Toasa-Cedeño²

Resumen

Esta investigación expone la identificación de los parámetros de resistencia al corte en suelos de la ciudad de Quito, tanto en condiciones de humedad natural como saturadas, con el objetivo de comprender las propiedades geotécnicas críticas que impactan en el deslizamiento de taludes, asentamientos de cimientos, estabilidad de terraplenes, capacidad portante del suelo, entre otros. A través del análisis geotécnico, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para evaluar la resistencia al corte de tres sitios presentes en el Distrito Metropolitano de Quito.

Se enfocó principalmente en la evaluación de parámetros clave, como la cohesión y el ángulo de fricción interna, bajo condiciones naturales y saturadas, considerando las características geotécnicas específicas de los suelos de la zona. Además, se analizó cómo la humedad repercute en estos parámetros, ofreciendo una comprensión integral de la resistencia al corte de los suelos de Quito en estado de saturación, información que es fundamental para el diseño de obras civiles.

Esta investigación también aporta recomendaciones prácticas para la ingeniería civil, con el objetivo de garantizar la seguridad y desempeño adecuado de las estructuras en estas condiciones particulares, contribuyendo significativamente al conocimiento geotécnico local y proporcionando una base para

Abstract

This research presents the identification of shear strength parameters in soils of Quito city, both under natural and saturated moisture conditions, with the aim of understanding critical geotechnical properties that impact slope stability, foundation settlements, embankment stability, soil bearing capacity, among others. Through geotechnical analysis, laboratory tests were conducted to assess the shear strength of three sites within the Metropolitan District of Quito.

The focus was primarily on evaluating key parameters, such as cohesion and internal friction angle, under both natural and saturated conditions, considering the specific geotechnical characteristics of the soils in the area.

Additionally, the study analyzed how moisture influences these parameters, providing a comprehensive understanding of soil shear strength in saturation conditions in Quito, crucial information for civil engineering design.

This research also offers practical recommendations for civil engineering, with the goal of improve the safety and proper performance of structures in these particular conditions, contributing to local geotechnical knowledge significantly and providing

¹Estudiante Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito – Ecuador.

² Docente de la Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito – Ecuador.

Autores para correspondencia ✉: aaimacanat@est.ups.edu.ec stoasac@est.ups.edu.ec

futuras investigaciones relacionadas con la resistencia al corte de suelos con características similares.

Palabras Clave: ángulo de fricción interna, cohesión, condición de humedad natural, humedad saturada, suelo.

a guideline for future research related to shear strength of soils with similar properties.

Keywords: internal friction angle, cohesion, natural moisture condition, saturated moisture, soil.

1. Introducción

En los últimos años el cantón Quito ha tenido un considerable crecimiento poblacional al igual que en el ámbito de las obras civiles y la tecnología aplicada en esta área, lo que conlleva a exigentes requerimientos en lo que se refiere a conocimiento, experiencia y criterio de ingeniería, orientado a la realización de diseños óptimos y, en consecuencia, la ejecución de trabajos de calidad en las distintas disciplinas, tal es el caso de la Geotecnia y Mecánica de Suelos.

En el ámbito de la geotecnia, la resistencia al corte comprende los parámetros involucrados en soportar la falla por esfuerzos de corte, como por ejemplo los problemas de estabilidad de taludes, esto principalmente se ve afectado cuando se tiene un incremento en la humedad del suelo, generando efectos perjudiciales en los parámetros de resistencia al corte.

En las obras de ingeniería, el ensayo de corte directo ayuda a obtener parámetros de resistencia al corte del suelo mediante la envolvente de falla, ya que “una muestra de suelo sometida a un esfuerzo de corte tiende a producir un desplazamiento de las partículas entre sí o de una parte de la masa del suelo con respecto al resto del mismo.” [1].

Para extender el campo de estudio la presente investigación tiene como objetivo aportar resultados en donde se determina la influencia de la humedad (w) sobre la variación de los parámetros de resistencia al corte de suelos provenientes de tres sitios de la ciudad de Quito, es decir, la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ), además de las propiedades físicas obtenidas a partir de las relaciones fundamentales del material, entre las principales, el peso específico en condiciones naturales, el contenido de humedad y la gravedad específica, tomando en consideración condiciones de humedad natural y contenido de humedad para el 100% de grado de saturación.

Llumiquinga, explica el procedimiento de ensayo de dos suelos (Vía Nono sector Plan Techo y Vía Nanegalito sector Los Dos Puentes), a partir de los cuales se determinan ecuaciones que permitieron conocer la reducción del ángulo de fricción y cohesión en función del aumento de la humedad. Concluyendo que este último afecta la

resistencia al corte del suelo y, por lo tanto, también al factor de seguridad en el análisis de estabilidad de taludes [2].

La cohesión y ángulo de fricción interna también son susceptibles de variar. Estas propiedades mecánicas son propias de cada tipo de suelo y pueden modificarse según su interacción con agentes externos como cargas, impactos o la presencia de agua. De su comportamiento depende la resistencia del suelo, por lo que su comprensión es fundamental.

Según Das, el hecho de trabajar con parámetros en estado natural, no garantiza que, en el caso de exposición al agua, tal que el suelo pueda alcanzar altos grados de saturación, se pueda alcanzar una resistencia del suelo capaz de soportar las cargas a las que esté sometido [3].

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

2.1.1. Ubicación

Se seleccionaron tres sitios dentro del Distrito Metropolitano de Quito, La Ecuatoriana, Conocoto y La Argelia, lugares ubicados en los siguientes mapas referenciales.

Figura 1, Figura 2 y Figura 3.



Figura 1. Valle del Cenepa sector La Ecuatoriana.



Figura 2. Camilo Ponce Enríquez vía Conocoto.



Figura 4. Extracción de Suelo La Ecuatoriana.



Figura 3. Caracol sector La Argelia.



Figura 5. Extracción de Suelo Conocoto.

2.2. Metodología

2.2.1. Obtención de Muestras

Las muestras del suelo se obtuvieron a través de la realización de calicatas, siguiendo los criterios establecidos en la normativa ASTM D4220 [4].

Se talló un bloque con dimensiones de 30x30x30 cm, el cual fue posteriormente protegido de manera apropiada utilizando material de embalaje no absorbente para preservar su contenido de humedad.



Figura 6. Extracción de Suelo La Argelia.

Una vez obtenidas las muestras, los bloques de suelos se transportaron al laboratorio de la

Universidad Politécnica Salesiana para su respectiva evaluación. Los ensayos realizados, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Ensayos realizados en laboratorio

	Ensayos	Norma
Propiedades índices	Contenido de agua	ASTM D-2216
	Gravedad Específica	ASTM D-854
	Densidad Natural	ASTM D-4531
Límites de Consistencia	Límite Líquido	ASTM D-4318
	Límite Plástico	ASTM D-4318
Granulometría	Lavado	ASTM D-4318
	Hidrómetro	ASTM D-422
Parámetros de Resistencia	Resistencia al Corte	ASTM D-3080

2.2.2. Ensayo de Relaciones fundamentales

• Contenido de humedad

La relación esencial y significativa en un suelo, es calcular el contenido de agua en el mismo, y la norma ASTM D2216 [5] facilita instrucciones detalladas para este ensayo. Empieza con la selección de una muestra representativa del suelo y la determinación de su masa inicial.

Posteriormente, esta muestra se introduce en un horno a una temperatura aproximada de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, tal como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Ensayo de contenido de agua en suelos.

Una vez concluida la etapa de secado, la muestra se retira del horno y se deja enfriando la muestra para ser pesada nuevamente y así obtener su masa final. Con estas masas iniciales y finales obtenidas,

se procede a calcular el contenido de agua en las muestras de suelo, utilizando la siguiente fórmula:

$$\%w = \frac{(m_o - m_f)}{m_f} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

%w: porcentaje de humedad calculado

m_o : masa inicial de la muestra

m_f : masa final de la muestra

• Gravedad específica

Se ejecutó este ensayo por el método del picnómetro y se adoptó como referencia el procedimiento que plantea la norma ASTM D 854 [6].

La gravedad específica se define como la relación entre la masa de una cantidad específica de sólidos a una temperatura determinada y la masa de la misma cantidad de agua sin espacios vacíos a la misma temperatura.

En este ensayo, el principal fallo ocurre al no sacar de manera adecuada el aire de la mezcla de suelo y agua en el picnómetro. Cuando no se agita correctamente los vacíos, el aire queda atrapado entre las partículas de suelo y agua, lo que causa una reducción en el peso. En consecuencia, el valor obtenido no será claro ni correcto, figura 8.



Figura 8. Ensayo de gravedad específica en suelos.

La gravedad específica se calcula con la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{M_s}{M_{pwt} - (M_{pwt} - M_s)} \quad (2)$$

Dónde:

G_s: Gravedad específica de las partículas sólidas presentes en el suelo

M_s: Masa de los sólidos

M_{pwt}: Masa total del picnómetro junto con el agua a la temperatura de ensayo

• Densidad Natural

Se desarrolló este ensayo en base a la normativa ASTM D 4531 [7] por el método de cera de parafina, como se muestra en la figura 9.

Este método de ensayo nos permite determinar la densidad natural, definiendo el volumen del suelo y determinando la masa de ese volumen específico.



Figura 9. Ensayo Densidad Natural – Método de Parafina.

2.2.3. Límites de Atterberg

Este ensayo se utiliza para determinar el comportamiento de los suelos finos, según la norma ASTM D 4318 [8].

• Límite Líquido

“El límite líquido se determina mediante la realización de ensayos en los que se lleva una parte de la muestra en una copa de bronce, dividido en dos por una herramienta de ranurado, y luego se deja fluir juntos hasta que los bordes del surco se unan en media pulgada, a causa de los golpes generados en la copa del dispositivo mecánico” [8].

En la figura 10 se puede observar el ensayo en la Copa de Casagrande.



Figura 10. Límite Líquido.

• Límite Plástico

“El límite plástico, es el contenido de humedad para el cual el suelo comienza a fracturarse cuando es amasado en pequeños cilindros, haciendo rodar la masa de suelo entre la mano y una superficie lisa.” [9].

En la figura 11 se puede observar el ensayo ya realizado.



Figura 9. Ensayo Límite Plástico.

• Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad se lo puede determinar como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

2.2.4. Clasificación SUCS

Mediante el ensayo de granulometría por lavado según la norma ASTM D-421 [10] y el ensayo de granulometría por hidrómetro norma ASTM D-422 [11], se calculan los porcentajes de grava, arena, finos y con los datos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, se procede a realizar la clasificación del tipo de suelo, utilizando

la metodología indicada según la norma ASTM D 2487 [12], como se indica en figura 12 y figura 13.

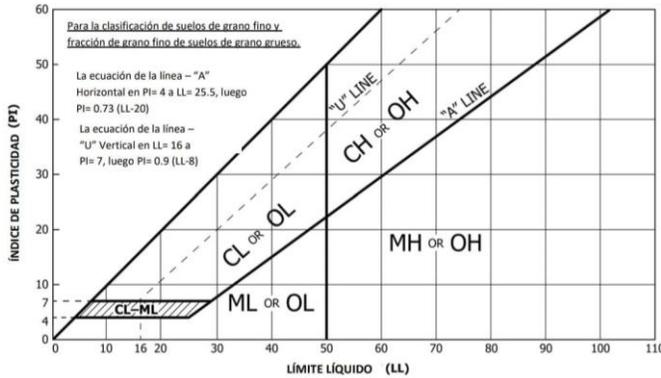


Figura 12. Carta de Plasticidad SUCS.

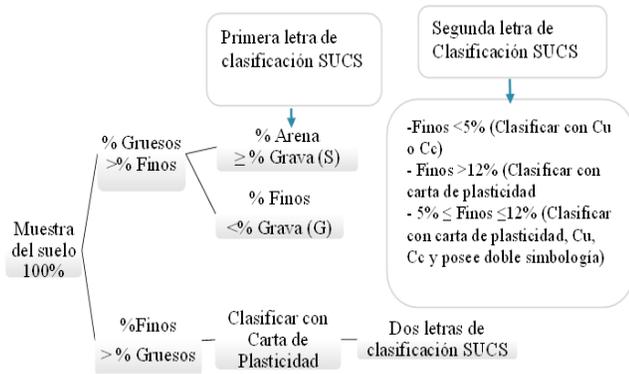


Figura 13. Procedimiento para Clasificación SUCS [13].

2.2.5. Ensayo de Corte Directo en Muestras de Suelos en Condiciones Naturales

Este ensayo se realizó basado en la norma ASTM D3080 [14].

Se realizó un total de nueve ensayos, tres por cada muestra obtenidas de los diferentes sitios (Conocoto, La Ecuatoriana y La Argelia Alta).

De los bloques de suelo, se tallaron muestras de 10x10x2 cm, con la ayuda de moldes metálicos fabricados a la medida de la caja de corte directo que cuenta el laboratorio de geotecnia de la Universidad Politécnica Salesiana, como se observa en la Figura 14.



Figura 14. Tallado de muestra de suelo para ensayo de corte directo

Posteriormente se tomó cada una de las muestras talladas y se procedió a tomar el peso de cada una de ellas, teniendo en cuenta el peso del molde metálico. Como se muestra en la figura 15.



Figura 10. Registro de masas de muestras talladas incluido el molde

Finalmente, se ensambló la muestra en la caja de corte, y se configuró los parámetros (carga axial, velocidad, tiempo) para los diferentes ensayos, el esfuerzo normal fue de 100 KPa, 150 KPa, 200KPa. Para cada tipo de suelo el tiempo de ensayo es diferente, en la tabla 2 podemos observar los diferentes tiempos de acuerdo al tipo de suelo.

Tabla 2. Tiempo de falla

Clasificación SUCS	Tiempo mínimo de falla, tf
SW, SP (<5% finos)	10 min
SW-SM, SP-SM, SM (>5% finos)	60 min
SC, ML, CL, SP-SC	200 min
MH, CH	24h

2.2.6. Ensayo de Corte Directo en Muestras de Suelos en Condiciones Saturadas

Se realizó un total de nueve ensayos, tres por cada muestra obtenidas de los diferentes sitios (Conocoto, La Ecuatoriana y La Argelia Alta).

De los bloques de suelo obtenidos y con la ayuda de moldes metálicos fabricados a medida de la caja de corte directo, se tallaron las muestras con medidas de 10x10x2 cm.

Una vez obtenidas las muestras, al igual que en el ensayo en estado natural se procedió a pesar cada una de ellas para luego ser sumergidas, tal como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Muestras sumergidas para ensayo de corte directo en estado saturado

Para conocer si las muestras de suelo sumergidas llegan al estado de saturación, se utilizó las relaciones fundamentales ya que, conociendo su masa en estado natural, humedad (w), gravedad específica (Gs) y relación de vacíos (e) se estimó cuál sería su masa en estado saturado.

3. Resultados y Discusión

3.1. Resultados de la caracterización

Luego de realizarse las pruebas de caracterización (relaciones fundamentales) para cada muestra de suelo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3. Tabla de relaciones fundamentales en suelos de cada sitio

Sitio	Relaciones Fundamentales		
	La Argelia Alta	Conocoto	La ecuatoriana
Gs	2,65	2,6	2,5
e	0,89	0,78	0,72
n	0,47	0,44	0,42
S %	90,71	78,76	50,31
w %	30,51	23,39	14,49
ρ _h (g/cm ³)	1,83	1,82	1,66
ρ _d (g/cm ³)	1,40	1,48	1,45

3.2 Granulometría

En las figuras mostradas a continuación se pueden observar las curvas granulométricas de cada suelo ensayado.

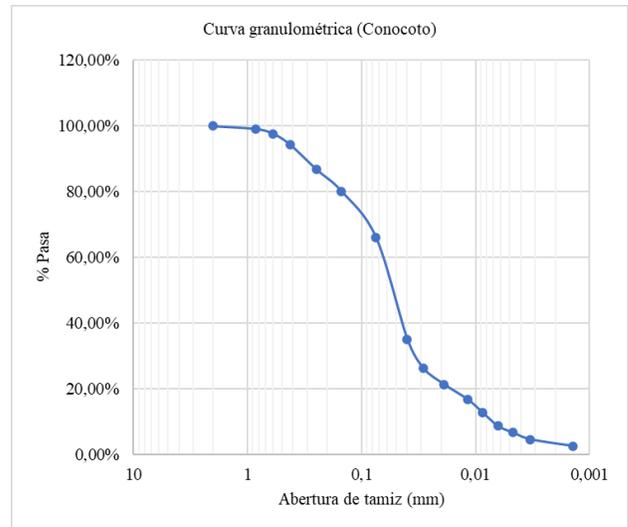


Figura 17. Curva Granulométrica de Conocoto

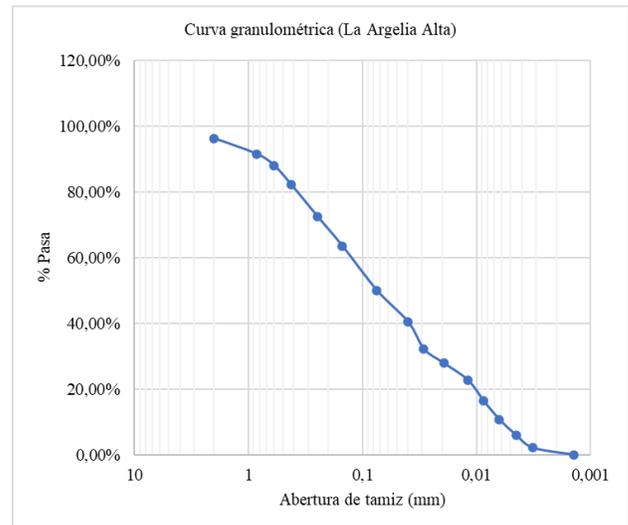


Figura 18. Curva Granulométrica de La Argelia Alta

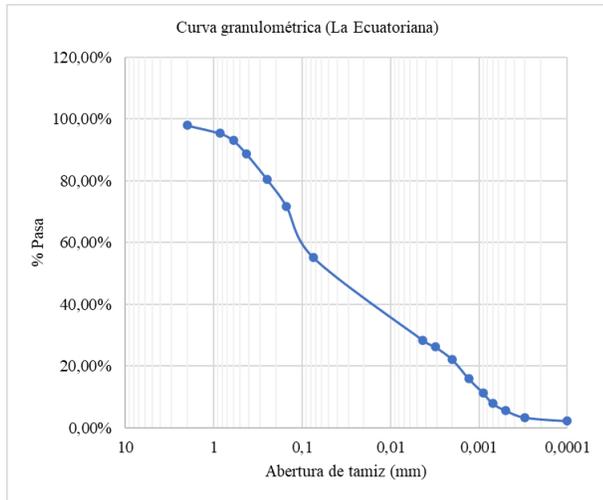


Figura 19. Curva Granulométrica de La Ecuatoriana

3.3 Clasificación SUCS y AASHTO

Obtenido ya todos los datos, se procedió a realizar la clasificación SUCS y AASHTO para los tres tipos de suelo, se presentan en la Tabla 4 los resultados.

Tabla 4. Tabla de clasificación SUCS y AASHTO

Sitio	LL	LP	IP	% Finos	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO
Conocoto	36.7	23.3	13.4	37.5	CL	A - 6 (1)
La Ecuatoriana	33.3	18.70	14.6	41.2	CL	A-7-6 (2)
La Argelia Alta	37.50	26.3	11.2	58.9	ML	A - 6 (5)

La muestra de suelo obtenida en Conocoto se identificó como CL (arcilla limosa de baja plasticidad) y A-6(1) ya que el porcentaje de finos que pasa por el tamiz N °200 es de 37,52%. Además, presenta un límite líquido (LL) de 36,67%, un límite plástico (LP) de 23,29 y un índice plástico (IP) de 13,38%. Su contenido de humedad fue de 23,39%

La muestra de suelo obtenida en La Ecuatoriana se identificó también como CL (arcilla limosa de baja plasticidad) y A-7(2) ya que el porcentaje de finos que pasa por el tamiz N°200 es de 41,24%. Además, presenta un límite líquido de 33,31%, un límite plástico de (LP) de 18,7% y un índice de plástico (IP) de 14,61%. Su contenido de humedad fue de 14,49%

La muestra de suelo obtenida en La Argelia Alta se identificó como ML (limo de baja plasticidad) y A-6(5) ya que el porcentaje de finos que pasa por el tamiz N°200 es de 58,91%. Además, presenta un límite líquido de 37,50%, un límite plástico de 26,26% y un índice plástico (IP) de 11,24%. Su contenido de humedad fue de 30,51%.

3.4 Envoltentes del ensayo de Corte Directo en Muestras de Suelos en Condiciones Naturales

Muestra Conocoto

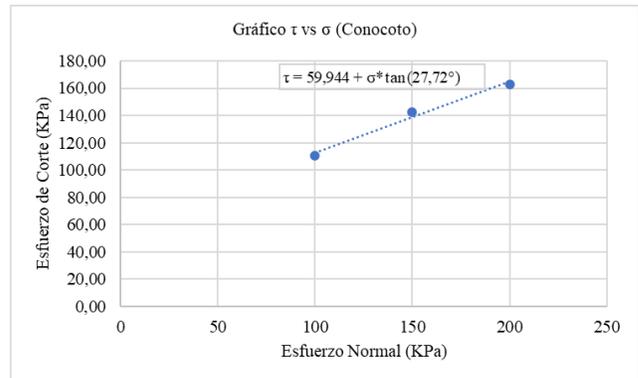


Figura 20. Representación gráfica de la falla ante distintas cargas normales - Conocoto

El cálculo de la cohesión y el ángulo de fricción se fundamenta en la ecuación de la línea recta, expresada como:

$$\tau = 59,944 + 0,5254 \sigma \text{ [KPa]}$$

Tabla 5. Cohesión y ángulo de fricción Conocoto, condición natural

Cohesión C (KPa)	Ángulo de fricción (φ)
59,94	27,72

Muestra La Ecuatoriana

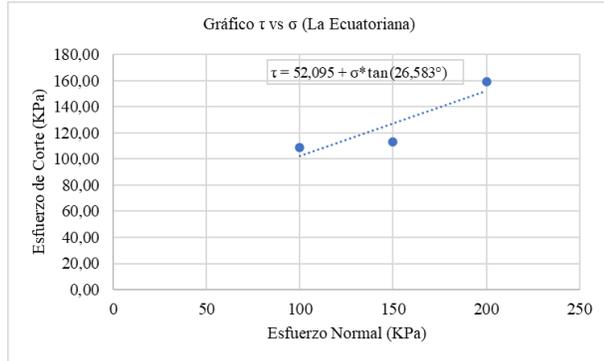


Figura 21. Representación gráfica de la falla ante distintas cargas normales – La Ecuatoriana

El cálculo de la cohesión y el ángulo de fricción se fundamenta en la ecuación de la línea recta, expresada como:

$$\tau = 52,095 + 0,5004 \sigma \text{ [KPa]}$$

Tabla 6. Cohesión y ángulo de fricción La Ecuatoriana, condición natural

Cohesión C (KPa)	Ángulo de fricción (φ)
52,10	26,58

Muestra La Argelia Alta

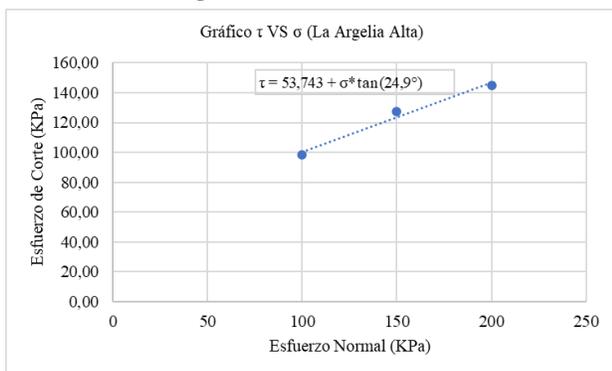


Figura 22. Representación gráfica de la falla ante distintas cargas normales – La Argelia Alta

El cálculo de la cohesión y el ángulo de fricción se fundamenta en la ecuación de la línea recta, expresada como:

$$\tau = 53,743 + 0,4642 \sigma \text{ [KPa]}$$

Tabla 7. Cohesión y ángulo de fricción La Argelia Alta, condición natural

Cohesión C (KPa)	Ángulo de fricción (φ)
53,743	24,90

3.5 Envoltentes del ensayo de Corte Directo en Muestras de Suelos en Condiciones Saturadas

Muestra Saturada Conocoto

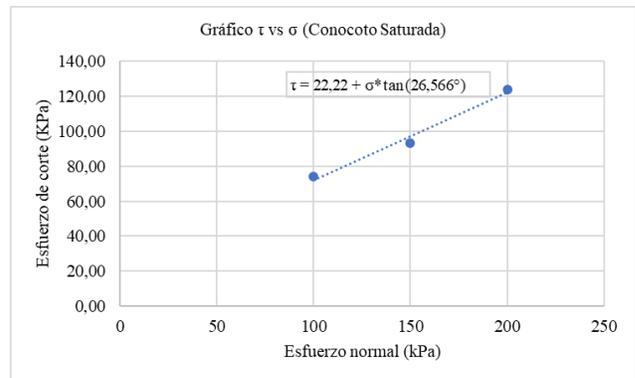


Figura 23. Representación gráfica de la falla ante distintas cargas normales en condición saturada – Conocoto

El cálculo de la cohesión y el ángulo de fricción se fundamenta en la ecuación de la línea recta, expresada como:

$$\tau = 22,22 + 0,5 \sigma \text{ [KPa]}$$

Tabla 8. Cohesión y ángulo de fricción Conocoto, condición saturada

Cohesión C (KPa)	Ángulo de fricción (φ)
22,22	26,57

Muestra Saturada La Ecuatoriana

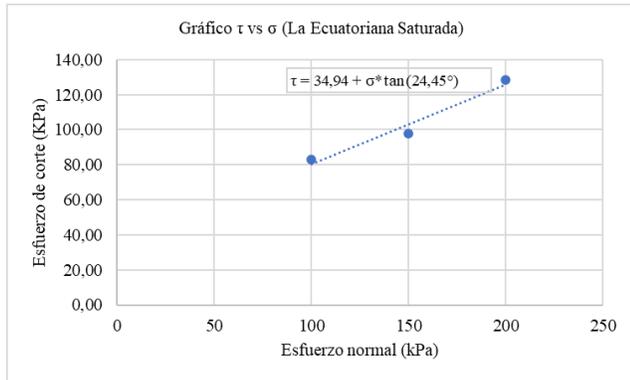


Figura 24. Representación gráfica de la falla ante distintas cargas normales en condición saturada – La Ecuatoriana

El cálculo de la cohesión y el ángulo de fricción se fundamenta en la ecuación de la línea recta, expresada como:

$$\tau = 34,94 + 0,4547\sigma \text{ [KPa]}$$

Tabla 9. Cohesión y ángulo de fricción La Ecuatoriana, condición saturada

Cohesión C (KPa)	Ángulo de fricción (φ)
34,94	24,45

Muestra Saturada La Argelia Alta

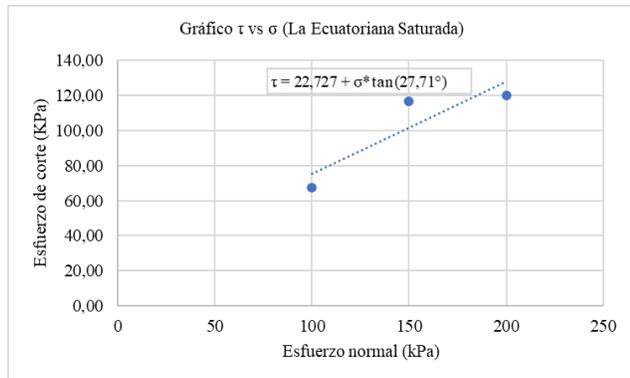


Figura 25. Representación gráfica de la falla ante distintas cargas normales en condición saturada – La Argelia Alta

El cálculo de la cohesión y el ángulo de fricción se fundamenta en la ecuación de la línea recta, expresada como:

$$\tau = 22,727 + 0,5252\sigma \text{ [KPa]}$$

Tabla 10. Cohesión y ángulo de fricción La Argelia Alta, condición saturada

Cohesión C (KPa)	Ángulo de fricción (φ)
22,73	27,71

3.6 Comparación de Parámetros de Resistencia al Corte de Muestras de Suelo en Condiciones Saturadas con Respecto a Condiciones Naturales

En esta investigación se realizó el ensayo de corte directo, en muestras de suelo en condiciones naturales y saturadas, para conocer los parámetros de resistencia al corte, tal es el caso de la cohesión (c) y ángulo de fricción interna (φ).

Cohesión (c): “Se entiende por adhesión del suelo debido a la atracción entre partículas, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. Por ende, la cohesión de un suelo podrá presentar variaciones si su contenido de humedad llegara a modificarse” [15]

Angulo de Fricción Interna (φ): “Se entiende por ángulo de fricción interna, uno de los parámetros más importantes en la evaluación de la resistencia al corte, definiéndose como la representación matemática del coeficiente de rozamiento que describe la resistencia al corte por fricción de los suelos junto con el esfuerzo efectivo normal, el cual va a depender del tamaño de los granos, la forma de estos, su distribución y su densidad.” [15].

A continuación, se hace una representación gráfica de los parámetros obtenidos en cada tipo de suelo, mediante el ensayo de corte directo en condición natural vs el ensayo de corte directo en condición saturada.

Conocoto

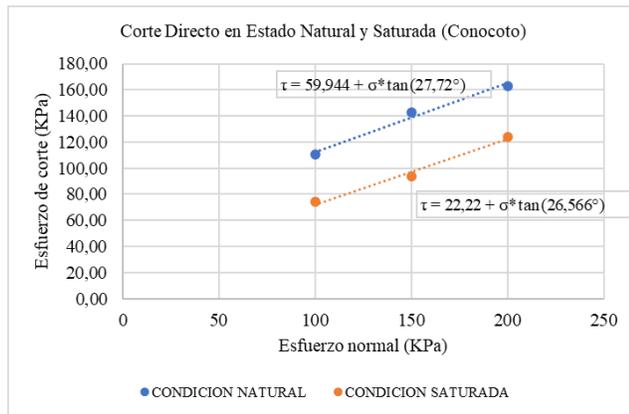


Figura 26. Comparación Corte Directo Condición Natural vs Corte Directo Condición Saturada

La Ecuatoriana

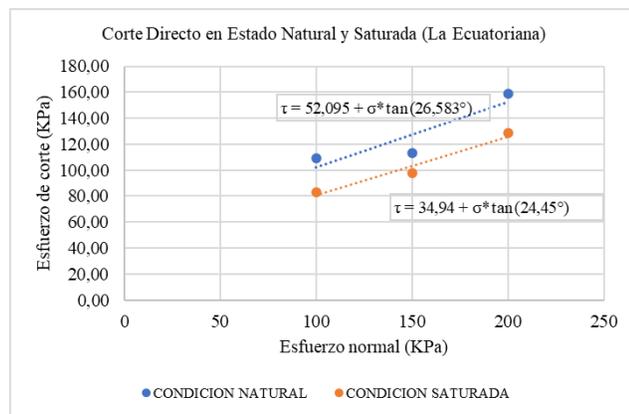


Figura 27. Comparación Corte Directo Condición Natural vs Corte Directo Condición Saturada

La Argelia Alta

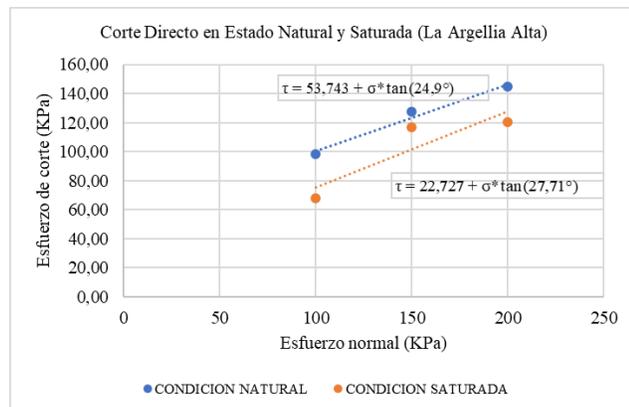


Figura 28. Comparación Corte Directo Condición Natural vs Corte Directo Condición Saturada

En las diferentes gráficas se puede observar como existe una variación tanto de la cohesión como del ángulo de fricción interna, en los suelos de Conocoto y de La Ecuatoriana, se presenta un comportamiento muy similar, ya que al aumentar la humedad el ángulo de fricción interna disminuye, al igual que la cohesión. Por otra parte, el suelo de La Argelia Alta, a medida que aumenta su contenido de humedad la cohesión disminuye, pero el ángulo de fricción interna se incrementa.

Además, en todos los casos puede evidenciarse que las rectas definidas por las pruebas de corte directo en muestras ensayadas en condiciones naturales, reflejan resultados mayores que las rectas definidas por las pruebas de corte directo ensayadas en muestras en condiciones saturadas.

3.7 Variación de los Parámetros de Resistencia al Corte de Muestras de Suelo Ensayadas en Condiciones Naturales vs Condiciones Saturadas

A continuación, se presentan tablas en donde se puede observar la variación del contenido de humedad y su influencia sobre la variación de los parámetros de resistencia al corte.

Tabla 11. Tabla de variación de los parámetros de resistencia al corte – La Argelia Alta

	Condición Natural	Condición Saturada	Δ (variación)
% ω	30,51	33,64	10,24
c	53,74	22,73	-57,70
ϕ	24,9	27,71	11,29

Tabla 12. Tabla de variación de los parámetros de resistencia al corte – Conocoto

	Condición Natural	Condición Saturada	Δ (variación)
% w	23,39	29,70	26,96
c	59,94	22,22	-62,93
ϕ	27,72	26,57	-4,15

Tabla 13. Tabla de variación de los parámetros de resistencia al corte – La Ecuatoriana

	Condición Natural	Condición Saturada	Δ (variación)
% w	14,49	28,80	98,76
c	52,10	34,94	-32,94
φ	26,58	24,45	-8,01

4. Conclusiones

De manera general, el incremento del contenido de humedad, desde el estado en condiciones naturales hasta el estado en condiciones saturadas, afecta negativamente a los valores de resistencia al corte del suelo. Esto se puede evidenciar en los suelos de los tres sitios analizados en esta investigación.

En la tabla 11, se puede evidenciar que, con un incremento del 10,24 % en el contenido de humedad, se presenta una disminución del 57,70 % de la cohesión y en cambio en el ángulo de fricción interna, se presenta un incremento del 11,29 % en la muestra de La Argelia Alta.

En la tabla 12, se puede evidenciar que, con un incremento del 26,96 % en el contenido de humedad, se presenta una disminución del 62,93 % de la cohesión, así mismo, en el ángulo de fricción interna, se presenta una disminución del 4,15 % en la muestra de Conocoto.

En la tabla 13, se puede evidenciar que, con un incremento del 98,76 % en el contenido de humedad, se presenta una disminución del 32,94 % de la cohesión, así mismo, en el ángulo de fricción interna, se presenta una disminución del 8,01 % en la muestra de La Ecuatoriana.

La presente investigación permite conocer el valor de los parámetros de resistencia al corte, como son la cohesión y el ángulo de fricción interna en tres sitios específicos de la ciudad de Quito, los cuales, son de gran importancia, para la comprensión del comportamiento del suelo en función de su capacidad de resistir deformaciones

bajo diferentes estados de carga axial. Dichos parámetros son indispensables en el campo de la geotecnia, ya que permiten estimar la capacidad de cada uno de los suelos analizados para soportar cargas. Esto llega a ser decisivo para un diseño fiable y apto en proyectos de Obra Civil.

La influencia del contenido de humedad en los parámetros de resistencia al corte de los suelos es una consideración crítica para las diferentes obras civiles, ya que, pueden generar efectos contraproducentes, tanto en la cohesión, como en el ángulo de fricción interna, afectando directamente a su resistencia al corte.

La comprensión de estas variaciones es esencial para la planificación y el diseño de proyectos geotécnicos, ya que las condiciones de humedad pueden impactar negativamente la estabilidad de taludes, la capacidad de carga del suelo y otros aspectos fundamentales en ingeniería civil. Este estudio proporciona información fundamental para reducir riesgos, garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras.

Referencias

- [1] C. Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Corte Directo*, Mexico: LIMUSA, 2004, pp. 163-134.
- [2] S. Llumiquinga, (2022). “Influencia del agua intersticial en los parámetros de resistencia al corte (triaxial UU) evaluado en 2 sitios del Distrito Metropolitano de Quito, aplicado a la estabilidad de taludes en suelos parcialmente saturados en términos de esfuerzos totales”. (Bachelor's thesis). Quito, junio, 2021.
- [3] B. M. Das, *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*, México: CENGAGE, 2012, pp. 418-420.
- [4] ASTM, «Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales Sribd,» 25 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/282774063/Astm-d4220>.

- [5] ASTM D2216, Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa, 2019, www.astm.org.
- [6] ASTM D 854, Métodos de ensayo estándar para determinar la densidad relativa (Gravedad específica) de suelos, 2017, www.astm.org.
- [7] ASTM D 4531, Métodos de ensayo estándar para densidad a granel de turba y productos de turba, 1986.
- [8] ASTM D4318, Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos, 2017, www.astm.org.
- [9] T. Ralph, *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*, Buenos Aires: El Ateneo S.A, 2019, pp. 20-35.
- [10] ASTM D 421, Práctica estándar para preparación de muestras de suelo para análisis de tamaño de partículas y determinación constante de suelo), 2002
- [11] ASTM D4318, Métodos de ensayo estándar para el análisis granulométrico, 2007.
- [12] ASTM D2487-17e1, Práctica estándar para la clasificación de suelos con fines de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.
- [13] Y. Naranjo, K Jaramillo. “Correlaciones múltiples entre propiedades geomecánicas, velocidades de onda de compresión (vp), corte (vs) y datos de clasificación SUCS en el suelo de cimentación del bloque g de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito - campus Sur.”, Quito, junio, 2021
- [14] ASTM D3080 / D3080M-11, Método de prueba estándar para la prueba de cizallamiento directo de suelos en condiciones de drenaje consolidado (retirado en 2020), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org.
- [15] C. Geotechnical, «Ensayo de Corte Directo "ABC Geotechnical",» ABC, 23 abril 2020. [En línea]. Available: <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/corte-directo-2/>. [Último acceso: 07 enero 2024].