



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Contento Loyola, Adrian Fernando

DIRECTORA: Esparza Villalba, Carmen Antonieta, M. Sc.

LOJA – ECUADOR

2017



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

M. Sc.

Carmen Antonieta Esparza Villalba

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU** realizado por el profesional en formación: Contento Loyola, Adrián Fernando ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre del 2017.

f) -----

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Contento Loyola Adrian Fernando declaro ser el autor del presente trabajo de titulación: Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo la M. Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad

f) -----

Autor: Adrián Fernando Contento Loyola

Cédula: 1105640690

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, mi creador y fuente de sabiduría. A mis amados padres, fuente de cariño y apoyo incondicional. A mi hermano, por su fiel compañía. A mi abuelita Fanny porque pese a su ausencia, siempre la he sentido conmigo en todo momento.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por regalarme la vida, por las bendiciones recibidas y por las fuerzas brindadas en momentos de dificultad y angustia.

A mis padres Rodrigo y Adriana, por ser fiel sustento de mi vida, ejemplo a seguir y por todo el apoyo, consejos y demás palabras sinceras de aliento que me han impulsado a ser mejor día a día.

A mi hermano Homero, por los momentos y risas compartidas, por todo el afecto brindado, por su paciencia, ayuda y amistad, pues me ha enseñado que aun en momentos de dificultad siempre hay espacio para la alegría.

A mis abuelitos Balbina, Fanny, Arturo y Homero, pilares fundamentales de mi familia y fuente inagotable de cariño.

A mis tíos, tías, primos y primas, quienes han sido fuente de comprensión, apoyo y unión.

A mi directora de tesis M. Sc. Carmen Esparza, por la guía brindada desde el inicio de mis estudios universitarios, por la ayuda y confianza depositada en mí para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos más cercanos, Fabián, Andrea, Cosme, Leonardo, Cristian Andrés, José, Ariana y Cristian, por todo el apoyo, comprensión, tolerancia, momentos compartidos y constante ayuda en el desarrollo de este trabajo.

Gracias a todas las personas que han formado parte de mi vida y que de alguna forma han ayudado al desarrollo y culminación de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Generalidades.	6
1.2 El suelo.	6
1.2.1 Suelos Limosos.....	8
1.3 Resistencia al corte.	8
1.3.1 Círculo de Mohr.	9
1.3.2 Criterio de falla de Mohr – Coulomb.	10
1.4 Pruebas de laboratorio.	11
1.4.1 Ensayo de corte directo.	12
1.4.2 Ensayo Triaxial.	13
1.5 Análisis estadístico.....	19
CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO	20
2.1 Generalidades.	21
2.2 Zona de estudio.	21
2.3 Clasificación de suelo.....	23
2.3.1 Toma de muestras.	23
2.3.2 Ensayos de laboratorio.	24
2.4 Resistencia al corte.	27
2.4.1 Toma y preparación de muestras.	27
2.4.2 Ensayo triaxial no consolidado, no drenado (UU).	28
2.4.3 Ensayo triaxial consolidado, no drenado (CU).	29
2.5 Modelación GeoStudio 2012 (SLOPE/W).....	32
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	34
3.1 Resistencia al corte.	35
3.2 Resistencia al corte	35

3.2.1	Ensayo triaxial no consolidado, no drenado (UU).....	35
3.2.2	Ensayo triaxial consolidado, no drenado (CU).....	36
3.2.3	Análisis de envolventes de falla en ensayos triaxiales UU y CU.....	37
3.2.4	Correlación de parámetros mecánicos (Φ , Φ') y (c , c').....	41
3.3	Análisis de estabilidad.....	42
CONCLUSIONES.....		46
RECOMENDACIONES.....		48
BIBLIOGRAFÍA.....		50
ANEXOS.....		53
Anexo A. Clasificación de suelos.....		54
Anexo B. Ensayo Triaxial no consolidado – no drenado (UU).....		58
Anexo C. Ensayo Triaxial consolidado – no drenado (CU).....		74
Anexo D. Correlación de resultados ensayo triaxial UU y CU.....		88
Anexo E. Modelaciones GeoStudio 2012 (SLOPE/W) (versión estudiantil).....		89

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el análisis estadístico entre parámetros de resistencia al corte en condiciones totales versus parámetros en condiciones efectivas. Para ello se usaron los ensayos triaxiales UU y CU. Es de conocimiento general que este tipo de ensayos se encuentran ampliamente difundidos y por tanto el conocimiento de la variabilidad en los resultados que arrojan permite dar un referente a ingenieros, en lo que respecta qué parámetros utilizar en los diferentes proyectos.

De acuerdo con la metodología, se realizó la elección de un talud conformado por 4 estratos de suelo cuya clasificación fue: SP, SM-SC, MH y CH. Mediante la preparación de especímenes se obtuvo los parámetros mecánicos de cada estrato del talud a través de los triaxiales UU y CU. A partir de estos resultados se realizó la comparación entre envolventes de falla y se obtuvo la respectiva correlación.

Los resultados obtenidos evidencian que el triaxial UU tanto los valores de ángulo de fricción como de cohesión son menores a los obtenidos en el triaxial CU.

Palabras clave: resistencia al corte, ensayo triaxial, cohesión, ángulo de fricción interna.

ABSTRACT

In the present work the statistical analysis was performed between parameters of shear strength under total conditions versus parameters under effective conditions. For this purpose, the triaxial tests UU and CU were used. It is common knowledge that this type of essays are widely disseminated and therefore the knowledge of the variability in the results that they present, allow engineers and students the correct application of these essays in different projects.

Regarding the methodology, the choice of a slope of the locality made up of 4 soil strata with the following classification: SP, SM-SC, MH and CH. Then with the extraction and the preparation of specimens the mechanical parameters of each stratum were obtained through triaxials UU and CU. From these results the comparison between failure envelopes was made and the respective correlation was obtained.

The results obtained for the tested soils show that in the triaxial UU test both the friction angle and the cohesion values are lower than those obtained in the triaxial CU test.

Key words: shear strength, triaxial test, cohesion, friction angle.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la geotecnia el conocimiento de las propiedades mecánicas del suelo (granulometría, plasticidad y resistencia al cortante) son fundamentales para llevar a cabo diseños eficientes en diferentes obras civiles garantizando economía y seguridad de las mismas (Das, 2012).

El presente trabajo de investigación ha sido desarrollado en base a la variabilidad existente entre parámetros de corte efectivos y totales de tal forma que se proporcione información relevante, que ayude a profesionales dedicados a la geotecnia, en la correcta interpretación de los valores de cohesión y ángulo de fricción interna del suelo obtenidos a través de ensayos triaxiales UU y CU. Se hace uso del ensayo triaxial puesto que es un método muy versátil que permite determinar las propiedades intrínsecas del suelo mediante la simulación de las condiciones que se tengan en campo.

El objetivo general planteado para el desarrollo de este trabajo radica en la generación de información acerca del comportamiento físico – mecánico de los suelos, evaluando el comportamiento de suelos limosos a través de ensayos triaxiales CU y UU, para el alcance de este objetivo se han planteado objetivos específicos los mismos que permitirán determinar las características mecánicas de los suelos limosos y analizar la variabilidad de estos resultados con respecto a su resistencia al corte, ángulo de fricción interna y cohesión. Por último, se realizarán modelaciones para la obtención de factores de seguridad. Para el análisis de variabilidad se utilizará como referencia investigaciones de igual índole como lo son Pachacama (2015), González & Pesántez (2015) y Rosales (2007).

La zona de estudio corresponde a un talud ubicado en el barrio Ciudad Victoria al sur-este de la ciudad. Dicha zona fue elegida en función al grado de afectación que puede tener un deslizamiento sobre la población asentada en el barrio y sobre todo en las viviendas aledañas al talud.

Durante la investigación se realizaron visitas de campo para la extracción de muestras alteradas e inalteradas, en función al número de estratos que presentaba el talud, y luego fueron sometidas a ensayos de laboratorio para determinar el tipo de suelo obteniéndose, en orden descendente de acuerdo con los estratos del talud, suelos: SP, SM-SC, MH y CH. Con los resultados se prosiguió a determinar la resistencia al corte mediante ensayos de compresión triaxial CU (consolidación previa, rotura sin drenaje y medida de la presión intersticial) y UU (sin consolidación previa y rotura sin drenaje). Seguidamente se analizaron los resultados comparando los parámetros efectivos con los parámetros totales a través de las envolventes de falla y mediante análisis estadístico, todo esto complementado con

modelaciones en el software GeoStudio 2012 (SLOPE/W) de tal forma que se utilicen las teorías de equilibrio límite para la obtención del factor de seguridad y se observe su respectiva variabilidad.

Para mejor entendimiento del tema se ha dividido el trabajo en 4 capítulos: Marco teórico, Marco Metodológico, Análisis de Resultados, Conclusiones y Recomendaciones.

En el capítulo I, marco teórico, se ha expuesto de forma breve y concisa lo investigado acerca de suelos limosos, resistencia al cortante del suelo, criterios de rotura y ensayos de corte. Pese a que se explican los ensayos de corte más utilizados, el trabajo profundiza en lo que son ensayos triaxiales CU y UU.

En el capítulo II, marco metodológico, se expone lo que ha sido el trabajo de campo con respecto a la zona de estudio y extracción de muestras, además se describen los ensayos realizados en laboratorio profundizándose en ensayos triaxiales CU y UU.

En el capítulo III, análisis de resultados, se tienen los resultados de resistencia al corte obtenidos a partir de los ensayos triaxiales CU y UU con su respectivo análisis y comparaciones entre los parámetros efectivos y totales, a su vez complementado con el enfoque a estabilidad de taludes.

En el capítulo IV, conclusiones y recomendaciones, se expondrán los aprendizajes obtenidos a través de toda la investigación y las recomendaciones pertinentes de acuerdo con los obstáculos superados.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Generalidades.

En este capítulo se describirá de forma concisa los diferentes temas que tienen relación directa con el trabajo de fin de titulación, por lo tanto, en este apartado se encuentran los conocimientos mínimos que son requeridos para entendimiento del problema a resolver.

Dentro de lo que compete al desarrollo de la investigación se encuentra fundamentalmente el concepto de la resistencia al cortante de un suelo, dicho esto se entiende que se abordarán temas de ángulo de fricción y cohesión. El uso de la resistencia al cortante en las diferentes obras civiles es de gran importancia puesto que permite conocer la respuesta de suelo frente a los sometimientos de carga como por ejemplo se puede evidenciar en los siguientes casos:

- En la construcción de una vía, la resistencia al corte del suelo actúa de forma indirecta en la estabilización de los taludes que conforman la vía y actúa de forma directa en el diseño de la vía puesto que es necesario conocer la resistencia de la subrasante (Suárez, 2009).
- En la estabilidad de taludes, la selección de parámetros de resistencia ya sea en condiciones totales o efectivas, así como su variabilidad en el tiempo y las condiciones de saturación son una de las mayores dificultades presentes en un análisis de estabilidad (Escobar & Duque, 2016).
- En el diseño de un muro, la resistencia al corte brinda los parámetros necesarios (ángulo de fricción interna y cohesión) para el diseño del mismo, ya que se deben considerar los empujes (activo y pasivo) que pueda transmitir el suelo.
- En los diferentes tipos de cimentación, la resistencia al corte del suelo permite al diseñador encontrar la dimensión óptima de zapata tal que logre transmitir la carga al suelo sin que éste falle por cortante.

1.2 El suelo.

El suelo se encuentra distribuido alrededor de todo el globo terráqueo y forma parte de la corteza terrestre. El suelo es el producto de la meteorización (procesos físicos, químicos y biológicos) de los distintos tipos de rocas que forman la corteza, sin embargo, este fenómeno no actúa sólo puesto que es acompañado de factores coadyuvantes al proceso de desintegración y descomposición de la matriz rocosa como lo son las fuerzas gravitatorias y la erosión (Tarbuck, Lutgens, & Tasa, 2005).

El suelo resultante de los fenómenos mencionados anteriormente es un material suelto que se encuentra conformado por minerales y poros que pueden albergar agua y/o aire; de esta forma se conoce que el suelo posee 3 fases: sólida, líquida (saturación total o parcial) y

gaseosa (poros llenos de aire) (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2004), además dependiendo si el suelo formado ha sido transportado por agentes atmosféricos (lluvia, viento) o en su defecto permanece en el sitio de descomposición de la roca, pueden clasificarse como suelos transportados o suelos residuales (Das, 2012). Para la geotécnica el suelo es cualquier material que no ha sido consolidado y que se encuentra sobre la superficie y, a diferencia de la edafología, no lo considera como elemento esencial para la vida (Harvey, 1987).

Dentro de lo que comprende el comportamiento del suelo en la práctica de la ingeniería civil, se conoce que debido a las diferentes actividades necesarias para la implantación de un proyecto (excavaciones, terraplenes aplicación de cargas) el suelo es alterado y por tal motivo es necesario conocer la respuesta del suelo a los diferentes estímulos. Esta respuesta se encuentra sujeta a diversos factores, pero principalmente depende del tipo de material presente en la zona y a las acciones a las cuales será sometido. Por tal motivo y sabiendo que cualquier acción de carácter antrópico supone un movimiento de partículas hace que sea necesario ejecutar un análisis de deformabilidad del suelo y evaluar los problemas de flujo de agua en su interior (González et al.,2004).

En lo que respecta a la tipología del suelo se conoce que está directamente relacionada con la descomposición de la roca madre (Das, 2012). El suelo se puede clasificar de varias maneras según el criterio a emplear. Si el criterio es el tamaño de grano el suelo puede ser arcillosos, limoso, arena o grava, por otro lado, si se emplea la clasificación propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) se tienen 9 tipos de suelos. Dentro de la práctica de la ingeniería geotécnica y de la geología es de uso común utilizar el criterio de tamaño de grano para el estudio del suelo, puesto que es una metodología de fácil comprensión y además es recomendada por normas internacionales (DIN, ASTM, AENOR) (González et al.,2004). Para el presente trabajo de investigación se utilizarán dos sistemas de clasificación, los cuales son:

- 1) Sistema de la American Association of state Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- 2) Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), también conocido como sistema de la American Society of Testing Materials (ASTM).

De acuerdo con el interés del tema de investigación se realizará la descripción de lo que son los suelos limosos y su resistencia al cortante.

1.2.1 Suelos Limosos.

Los suelos limosos se encuentran compuestos por limos los mismos que son producto de la meteorización de las rocas sedimentarias conocidas como areniscas (Suárez, 2009). Las partículas de limo son generalmente irregulares, de forma variada y casi nunca lisas. El mineral dominante suele ser el cuarzo (SiO_2) y su tamaño es microscópico. Debido a la presencia de cuarzo se puede deducir que los limos son químicamente inactivos (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill, 2004).

Al igual que la arena, el limo no tiene capacidad de formar estructuras, además este suelo no sufre contracción o dilatación alguna y posee una relación superficie/volumen baja (Jordán, 2006).

La resistencia al cortante de suelos arenosos y limosos está influenciada principalmente por la densidad relativa y la relación de vacíos. Tal como lo expuso Lee (1965), a mayor densidad relativa existe menor relación de vacíos y el ángulo de fricción interna del suelo aumenta. Por otra parte, Lambrechts and Leonards (1978) encontraron que el historial de esfuerzos o estado de consolidación que presente estos suelos no tienen un efecto significativo sobre el ángulo de fricción interna sino más bien afectan su módulo de compresión.

Según el sistema de clasificación empleado se tiene dos criterios en cuanto al tamaño de partículas de un suelo limoso, con respecto al sistema ASSHTO el tamaño de grano se encuentra entre 0,05mm a 0,002mm mientras tanto para SUCS el tamaño de grano se encuentra en un rango menor a 0,075mm tanto para limos como para arcillas (Das, 2012).

1.3 Resistencia al corte.

Cuando una masa de suelo o un talud se encuentra bajo la acción de cargas o esfuerzos que crecen indefinidamente, como respuesta se tendrán grandes deformaciones que son inaceptables en donde se evidenciará que el suelo ha fallado. Por esta razón es importante el conocimiento de la resistencia al corte de un suelo puesto la mayoría de problemas en estabilidad de taludes resulta por los esfuerzos aplicados excesivamente (Holtz & William, 1981).

La resistencia al corte de un suelo está directamente relacionado a su estado tensional y a la presión de poros que experimente en su estructura interna (González et al., 2004). El parámetro de resistencia al cortante no es un valor constante y para su determinación se realizan pruebas de laboratorio con el fin de obtener características propias del suelo definidas por la cohesión y ángulo de fricción interna (Das, 2012).

Das (2012) define la resistencia al corte como la resistencia interna por área unitaria que la masa del suelo ofrece para resistir la falla o el deslizamiento en cualquier plano dentro de él. Además, se conoce que los suelos al fallar por cortante se comportan según las teorías de fricción y de cohesión (Suárez, 2009).

Para suelos finos la resistencia al corte está influenciada por los siguientes factores: velocidad de aplicación de las cargas, condiciones de drenaje, historia previa de consolidación del suelo, sensibilidad tixotrópica (González & Pesántez, 2015).

El ángulo de fricción interna se entiende como el coeficiente de rozamiento entre partículas de suelo que se produce cuando dos masas de suelo se deslizan, una sobre otra, haciendo que estas partículas entren en contacto. Por lo tanto, esta fuerza friccionante que se desarrolla actuará en contra del esfuerzo aplicado para que se produzca la falla (Leoni).

La cohesión es un parámetro que puede o no estar presente en el suelo, y está representada por la adherencia o cementación de las partículas. Este parámetro varía dependiendo del tipo de suelo, ya que en suelos granulares no existe un material que les provea de adherencia por lo tanto la cohesión es igual a cero; por otra parte, en suelos de grano fino como las arcillas donde si existe un material cementante el valor de la cohesión es diferente de cero (Suárez, 2009).

1.3.1 Círculo de Mohr.

El círculo de Mohr es la representación gráfica de la teoría de rotura propuesta por el mismo autor, dicha teoría establece que la combinación crítica de los esfuerzos normal y cortante produce la falla en un material (Das & Sobhan, 2014). Su gráfico representa los estados de esfuerzos en un punto en equilibrio y es aplicable a cualquier material (Holtz & William, 1981).

Para su trazado se debe considerar un plano formado por los esfuerzos cortantes en el eje de las ordenadas y los esfuerzos normales en el eje de las abscisas, dichos ejes deben tener la misma escala. El círculo de Mohr cortará al eje de las abscisas, donde el esfuerzo es nulo, en dos puntos los mismos que son conocidos como los esfuerzos principales σ_1 y σ_3 (Suárez, 2009). El esfuerzo con la magnitud más grande es conocido como el esfuerzo principal mayor (σ_1) y el esfuerzo de menor magnitud será el esfuerzo principal menor (σ_3).

Sin embargo, existe un esfuerzo principal intermedio (σ_2) el cual no se grafica ya que este esfuerzo se lo halla en una tercera dimensión (Holtz & William, 1981).

A partir del gráfico del círculo de Mohr es posible conocer el estado de esfuerzos en un plano inclinado con la misma orientación en el espacio que la línea que se dibuja a través de un punto, este punto se lo conoce como polo u origen de los planos. Gracias a este polo se puede emparejar al círculo de Mohr con la orientación del elemento en el mundo real (Holtz & William, 1981).

Gracias a la investigación de Lambe y Whitman (1969) se puede representar el estado de esfuerzos a través de un punto de esfuerzo cuyas coordenadas son $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ y $(\sigma_1 + \sigma_3) / 2$, dicho par ordenado toma la nomenclatura p y q respectivamente. Si se han realizado varios ensayos se puede obtener un par ordenado para cada círculo de Mohr y trazase una trayectoria de esfuerzos en un diagrama p vs. q. Esto es útil cuando se quiere demostrar estados sucesivos de esfuerzo al que el suelo está sometido o experimenta durante la aplicación de una carga.

1.3.2 Criterio de falla de Mohr – Coulomb.

En 1900 Mohr brindó su hipótesis sobre la falla de un material la misma que enuncia que al momento de la falla y sobre el plano de falla, la fuerza de corte alcanza una única función del esfuerzo normal sobre dicho plano (Holtz & William, 1981). Para comprobar esta hipótesis sólo basta ensayar especímenes en donde se conozcan los esfuerzos principales aplicados y dibujar los círculos de Mohr.

Por otra parte, Coulomb mediante sus investigaciones encontró que para la resistencia al corte de un suelo existe un esfuerzo dependiente y un esfuerzo independiente, en donde el componente dependiente lo denominó ángulo de fricción interna debido a la fricción que se presenta durante el deslizamiento de las partículas, mientras que el otro componente se encuentra relacionado a la cohesión intrínseca del material (Holtz & William, 1981).

En base a lo expuesto se concluyó que la resistencia al corte del suelo es proporcional al esfuerzo normal actuante y al grado de cohesión que presente el suelo (Das & Sobhan, 2014) tal como lo demuestra la siguiente ecuación:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Dónde: τ_f : Resistencia al cortante del suelo.

c : Cohesión.

σ : Esfuerzo normal al plano de falla.

ϕ : Ángulo de fricción interna.

La ecuación precedente se combinó con la hipótesis de falla de Mohr y la envolvente de los círculos se convirtió en una línea recta cuyo nombre es línea de resistencia intrínseca o envolvente de falla de Mohr (González et al.,2004). Esta envolvente representa la combinación de tensiones necesaria para que se produzca la rotura en el plano y consecuentemente la falla del suelo trayendo consigo deslizamientos de taludes (Das & Sobhan, 2014), además la envolvente de falla es considerada como una propiedad del material y dependerá de las condiciones de drenaje y rapidez de aplicación de la carga (Leoni). A continuación, se muestra la Figura 1 en donde se observa la envolvente de falla y el criterio Mohr-Coulomb.

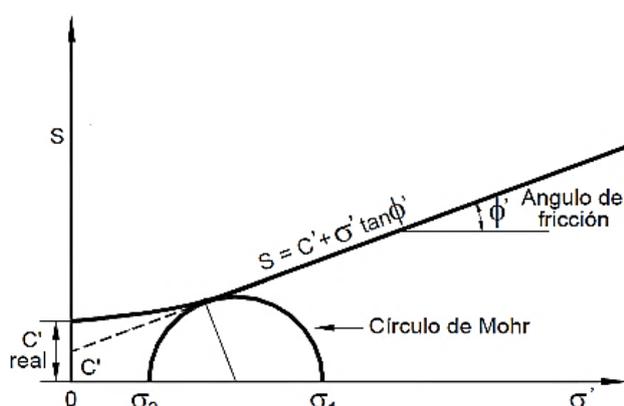


Figura 1. Círculo de Mohr y envolvente de falla.
Fuente: (Suárez, 2009).
Elaboración: (Suárez, 2009).

En la Figura 1. se observa que el suelo alcanzará la falla cuando el círculo de Mohr sea tangente a la envolvente, caso contrario no existirá la combinación de esfuerzos crítica y el material se encontrará en una condición tensional estable de equilibrio (Leoni). Por otra parte, los esfuerzos que se ubiquen sobre la envolvente representan un estado imposible puesto que han rebasado el criterio de rotura (González et al.,2004).

Además, según la hipótesis de falla de Mohr se tiene que la inclinación del plano de falla se obtendrá al unir el punto de tangencia de la envolvente con el polo del círculo de Mohr (Holtz & William, 1981).

1.4 Pruebas de laboratorio.

Pese a la existencia de ensayos in situ, las pruebas de laboratorio son la forma más común para determinar la resistencia del suelo, sin embargo, los resultados obtenidos dependen de la calidad y tamaño de muestras extraídas, y del método a emplear (Suárez, 2009).

Para lograr resultados confiables en las pruebas de laboratorio es necesario reconocer que no siempre se podrán simular las condiciones de campo por lo que es fundamental establecer la diferencia entre la carga aplicada en el laboratorio y la carga aplicada en los ensayos (Suárez, 2009).

El parámetro de resistencia al cortante es medido a través de dos pruebas estándar de laboratorio: ensayo de corte directo y ensayo triaxial (Das, 2012). Sin embargo, González y Pesántez (2015) basados en la teoría de compactación de Terzaghi, afirman que la resistencia al cortante en suelos finos saturados está dada por la envolvente consolidada – drenada, y que la aplicación de cualquier ensayo depende del tiempo que se disponga para la obtención de los parámetros geotécnicos.

1.4.1 Ensayo de corte directo.

Es el ensayo de uso común para la determinación de parámetros mecánicos en casos de deslizamientos. El procedimiento de este ensayo y su alcance se encuentra dentro de la norma ASTM D 3080-72. Para la realización de este ensayo es necesario utilizar muestras inalteradas y saturadas en su totalidad (Suárez, 2009).

El aparato utilizado consta de una caja rígida de acero dividida en dos mitades. En esta caja el marco inferior es fijo, mientras el superior es móvil y se desplaza de forma horizontal sobre el inferior (Leoni).

Luego de perfilar la muestra se coloca en dentro de la caja y se aplica una carga normal (P_1), seguidamente en la parte superior actúa una fuerza cortante (F) de tal forma que cause la falla en la muestra (Das, 2012). Durante el ensayo se realizan mediciones de la fuerza y deformaciones horizontal y vertical. El esquema del equipo se muestra en la Figura 2.

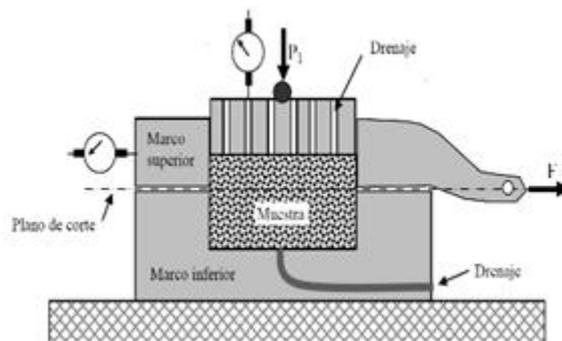


Figura 2. Esquema del aparato de corte directo.
Fuente: (Leoni).
Elaboración: (Leoni)

Algunas desventajas de este tipo de ensayo son las siguientes:

- El extraer muestras inalteradas con un tamaño necesario para construir 3 probetas cúbicas resulta antieconómico (Leoni).
- No es posible tener un control de la presión de poros durante el ensayo (Leoni).
- La muestra no romperá en el plano más débil de su estructura sino en el plano de corte definido por el aparato (Leoni).

A causa de la última desventaja los resultados de resistencia al corte en este ensayo son mayores en comparación a los de un ensayo triaxial y no dependen necesariamente de las propiedades del suelo (Suárez, 2009).

Algunas ventajas de este tipo de ensayo son las siguientes:

- Los principios bajo los que se rige son elementales (González et al.,2004).
- Debido al tamaño de la caja es posible ensayar suelo de grano grueso (González et al.,2004).
- Se puede medir resistencia residual en arcillas (González et al.,2004).

1.4.2 Ensayo Triaxial.

Es una de las pruebas más versátiles para determinar la resistencia al cortante del suelo, ya que permite determinar las relaciones de esfuerzo – deformación al aplicar distintos estados reales de carga (Estrada & Ramírez, 2012).

Se denomina triaxial debido a que el espécimen de suelo es sometido a 3 fuerzas llamadas “esfuerzos principales” (σ_1 , σ_2 , σ_3) cuyas magnitudes son conocidas. Usualmente estos esfuerzos principales σ_1 , σ_2 , σ_3 son los esfuerzos principales mayor, intermedio y menor respectivamente (Juárez & Rico, 2005).

Esta prueba de laboratorio puede realizarse en arenas y arcillas y sus resultados permiten el estudio de la línea de resistencia intrínseca o envolvente de falla de Mohr (Crespo, 2004).

Basándose en la Figura 3, el equipo consiste en una celda o cámara, dentro de ella se colocará el espécimen de suelo a ensayarse para lo cual se la llenará de agua en su totalidad, luego se debe aplicar una presión determinada o de confinamiento (σ_3), de tal forma que dicha presión se transmite al espécimen a través del fluido. El esfuerzo principal mayor (σ_1) es aplicado al espécimen como una fuerza de compresión a través de los pistones de la máquina de ensayo. Durante el ensayo el volumen del espécimen cambia si se permite el drenaje o caso contrario se inducen presiones de poro al no permitir el drenaje. El ensayo terminará

cuando el esfuerzo desviador ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$) sea el suficiente para que la muestra falle por corte (Suárez, 2009).

Una de las mayores ventajas de este ensayo con respecto al de corte directo es que el plano de falla no es forzado, sino que ocurre de forma natural o en cualquier plano que sea débil (Holtz & William, 1981).

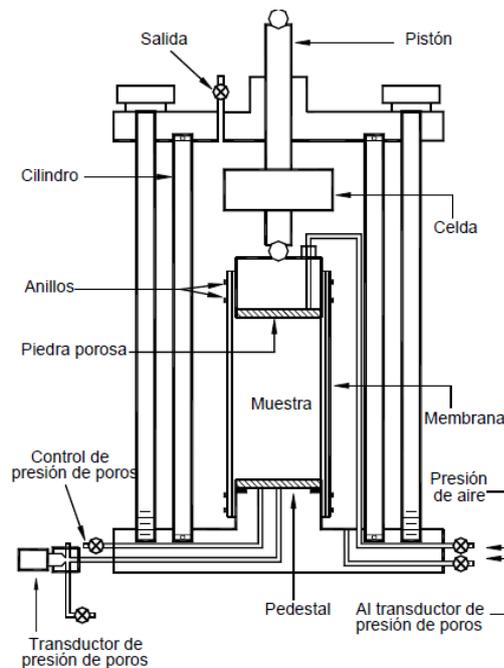


Figura 3. Esquema del aparato triaxial.
Fuente: (Suárez, 2009).
Elaboración: (Suárez, 2009).

Actualmente en el ensayo triaxial se pueden reproducir pruebas de extensión y de compresión (Juárez & Rico, 2005) a continuación se explican cada una:

- En las pruebas de compresión el espécimen de suelo puede disminuir su altura mediante el aumento del esfuerzo axial (esfuerzo principal mayor σ_1) y la disminución de la presión de confinamiento (esfuerzo principal intermedio y menor, $\sigma_2 = \sigma_3$) dada por el agua. O en su defecto se puede aumentar el esfuerzo axial (esfuerzo principal mayor σ_1) y a su vez disminuir la presión de confinamiento (esfuerzo principal intermedio y menor, $\sigma_2 = \sigma_3$) de tal forma que cada incremento de esfuerzo axial sea 2 veces la disminución de la presión de confinamiento, con esto se logra que el promedio aritmético de los esfuerzos aplicados al espécimen sea constante (Juárez & Rico, 2005).
- En las pruebas de extensión la altura del espécimen se aumenta mediante una reducción de la presión axial (esfuerzo principal mayor σ_1) y manteniendo constante la

presión de confinamiento (esfuerzo principal intermedio y menor, $\sigma_2 = \sigma_3$). Por otra parte, la altura del espécimen se aumenta bajo una presión axial constante (esfuerzo principal mayor σ_1) y el aumento de la presión de confinamiento (esfuerzo principal intermedio y menor, $\sigma_2 = \sigma_3$). O en base a un promedio aritmético de los esfuerzos constante, se puede reducir la presión axial (esfuerzo principal mayor σ_1) al doble con cada aumento de presión lateral (esfuerzo principal intermedio y menor, $\sigma_2 = \sigma_3$) (Juárez & Rico, 2005).

Dentro de las pruebas de compresión se pueden realizar 3 tipos de ensayos triaxiales basados en las condiciones de drenaje, estos ensayos son modelos de situaciones críticas utilizadas para el análisis de estabilidad del talud. Estos ensayos son designados por dos letras en donde la primera letra se refiere a lo que ocurre antes de la aplicación de carga axial y la segunda letra se refiere a las condiciones de drenaje durante el ensayo de esta forma se los denomina así: no consolidado – no drenado (UU), consolidado – no drenado (CU), consolidado – drenado (CD) (Holtz & William, 1981).

1.4.2.1 Ensayo triaxial UU.

Este ensayo es también conocido como prueba rápida debido a su sencillez de ejecución. Los parámetros determinados a través de un ensayo UU son totales puesto que no interviene la medición de presión de poros (u) y su ejecución se la realiza de acuerdo con la norma ASTM D-2850 82 (González et al., 2004).

En esta prueba no se permite la etapa de consolidación del espécimen, por lo que el ensayo se resume a la aplicación de presión de confinamiento (σ_3), y a la rápida aplicación de carga axial (σ_1) de tal forma que produzca la falla del suelo, tal como lo indica el esquema mostrado en la Figura 4.

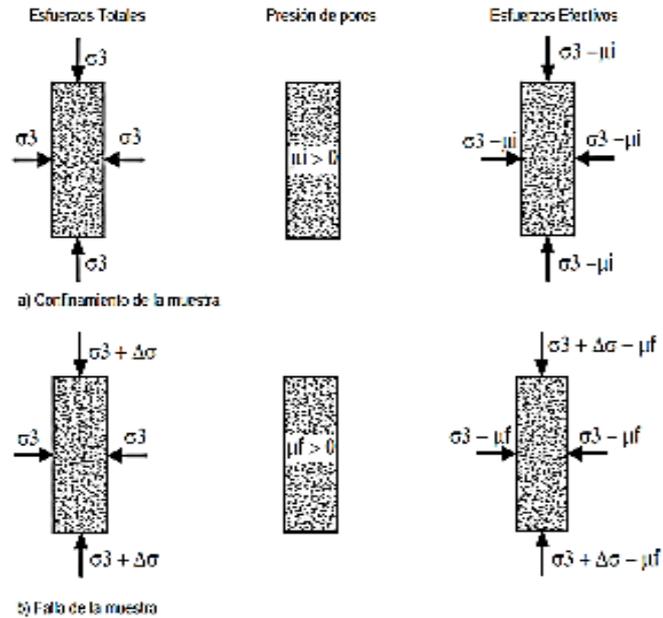


Figura 4. Ensayo Triaxial UU
Fuente: (Suárez, 2009).
Elaboración: (Suárez, 2009).

La envolvente de falla para este tipo de prueba (Figura 5.) se representa como una línea horizontal cuyo ángulo de fricción ($\phi = 0$) es nulo y la cohesión (c_u) representa la resistencia al corte no drenado del suelo ($\tau_f = c_u$) (Valerio, 2011).

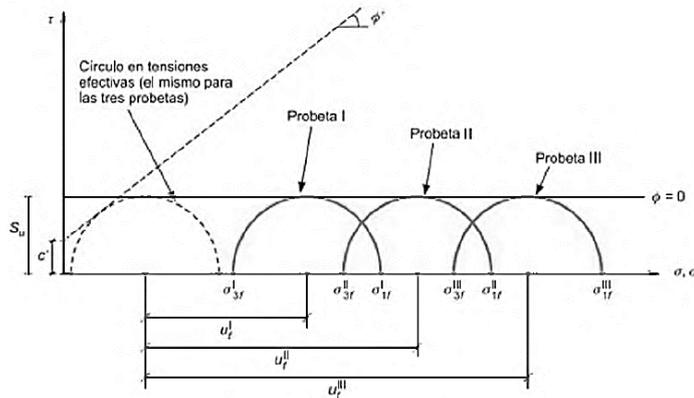


Figura 5. Círculos de Mohr en ensayo UU
Fuente: (González et al.,2004).
Elaboración: (González et al.,2004).

Tal como se evidencia en la Figura 5. La envolvente de falla coincide con el radio de círculos en condiciones totales y efectivas por lo que la resistencia al corte no drenado ($\tau_f = c_u$) representa el máximo valor de resistencia del suelo para un estado inicial de tensiones efectivas. De esta forma se conoce la máxima resistencia que puede presentar el suelo frente

a sometimientos de carga en donde las condiciones pudieran suponerse como no drenadas o totales (González et al.,2004).

1.4.2.2 Ensayo triaxial CU.

Este ensayo es conocido como prueba rápida y es el más común de las pruebas triaxiales. Los parámetros que se obtienen a través de este ensayo con totales y efectivos, adicional a esto se realiza la medición de la presión de poros (u) presente en los vacíos del espécimen. La norma que rige el procedimiento para este ensayo es la ASTM D 4767-11 (Valerio, 2011).

Durante la ejecución de este ensayo se diferencian dos etapas; la primera consiste en la consolidación del espécimen a través de la presión de confinamiento (σ_3) dada por el fluido dentro de la celda, durante esta etapa la presión de poros (u) es reducida a un valor insignificante debido a que se permite el drenaje del espécimen de tal forma que el esfuerzo llegue a ser efectivo. Para la segunda etapa se cerrará la válvula de drenaje, y se procede a la aplicación de esfuerzo desviador axial ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$), de esta manera se ejecuta la medida de presión de poros (u) al momento de la falla (Valerio, 2011). El esquema del ensayo se muestra a continuación en la Figura 6.

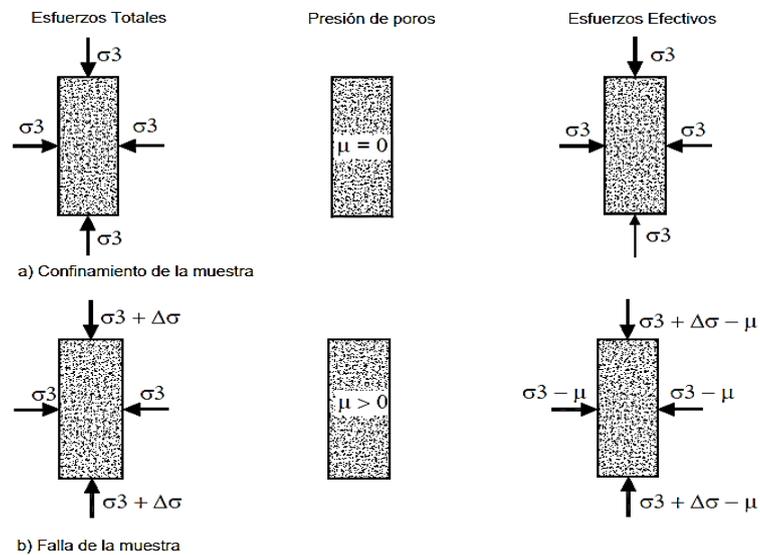


Figura 6. Ensayo Triaxial CU
Fuente: (Suárez, 2009).
Elaboración: (Suárez, 2009).

De acuerdo con Das & Sobhan (2014) la presión de poros (u) puede aumentar o disminuir de acuerdo al tipo de suelo que se está ensayando, de tal forma que se tiene lo siguiente:

- En arena suelta y arcilla normalmente consolidada, la presión de poros aumentará. Esto se sustenta en que estos suelos son contractantes puesto que reducen su volumen al ser sometidos a una carga.
- En arena densa y arcilla preconsolidada, la presión de poros aumentará hasta un valor límite y luego decrecerá pudiendo llegar a valores negativos con respecto a la presión atmosférica. Ese fenómeno se sustenta en que estos suelos son dilatantes por lo que aumentarán su volumen o se abrirán al ser sometidos a una carga.

Los resultados en este ensayo se encontrarán luego de ensayar tres probetas a diferentes valores de σ_3 y será expresados en términos efectivos, pudiéndose conocer el ángulo de fricción efectivo (Φ') y la cohesión efectiva (c') (González et al.,2004).

1.4.2.3 Ensayo triaxial CD.

Este ensayo es conocido como prueba lenta, su uso no es cotidiano puesto que para su ejecución se necesita de un tiempo considerable. La característica principal de este ensayo es que, a diferencia de los triaxiales UU y CU, el drenaje es permitido durante todo su desarrollo. De esta manera los parámetros totales y efectivos son los mismos debido a que la presión de poros se mantiene nula. La norma que rige este ensayo es la ASTM D7181–11 (Crespo, 2004).

Para la ejecución del ensayo se debe tener en claro dos etapas: la primera etapa consiste en la consolidación del espécimen de suelo mediante la aplicación de la presión de confinamiento (σ_3) y al igual que en la prueba CU el drenaje es permitido de tal forma que la presión de poros (u) se disipa lentamente en función de la permeabilidad que tenga el suelo. Una vez consolidado el suelo, se inicia la segunda etapa la misma que consiste en la aplicación de la carga axial, sin haber realizado cambios en la presión de confinamiento (σ_3) y la presión de poros (u), la velocidad de carga debe ser lenta puesto que es necesario que la presión de poros que se genera se disipe continuamente. La prueba finalizará cuando el suelo falle por corte (González et al.,2004).

Según explica Suárez (2009), las fluctuaciones de la presión de poros durante la fase de carga deben ser casi nulas y con una diferencia no mayor al 5% de la presión de confinamiento (σ_3).

1.5 Análisis estadístico.

Orellana (2001) define un análisis estadístico como el arte de sacar conclusiones y realizar inferencias a partir de un conjunto de datos imperfecto. Entendiéndose como imperfecto a los datos que sólo nos dejan ver parte de una realidad.

En base a lo expuesto se puede afirmar que la correlación estadística es una herramienta útil que permite cuantificar la relación lineal que existe entre dos variables. Para este análisis se utiliza el coeficiente de correlación lineal de Pearson, dicho coeficiente oscila entre 0 y 1 (Arriaza, 2006).

Por otro lado, la desviación típica o varianza, permite estudiar el grado de dispersión de un conjunto de datos con respecto de su media. Este análisis presenta la distribución individual de cada variable y es importante destacar que la varianza es usada sólo en variables métricas (Arriaza, 2006).

CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Generalidades.

El capítulo describe la metodología empleada para la realización adecuada del trabajo investigativo. La metodología fue de tipo cuantitativa y se aplicó el método no experimental de carácter transeccional. A continuación, un esquema más a detalle de la metodología empleada:

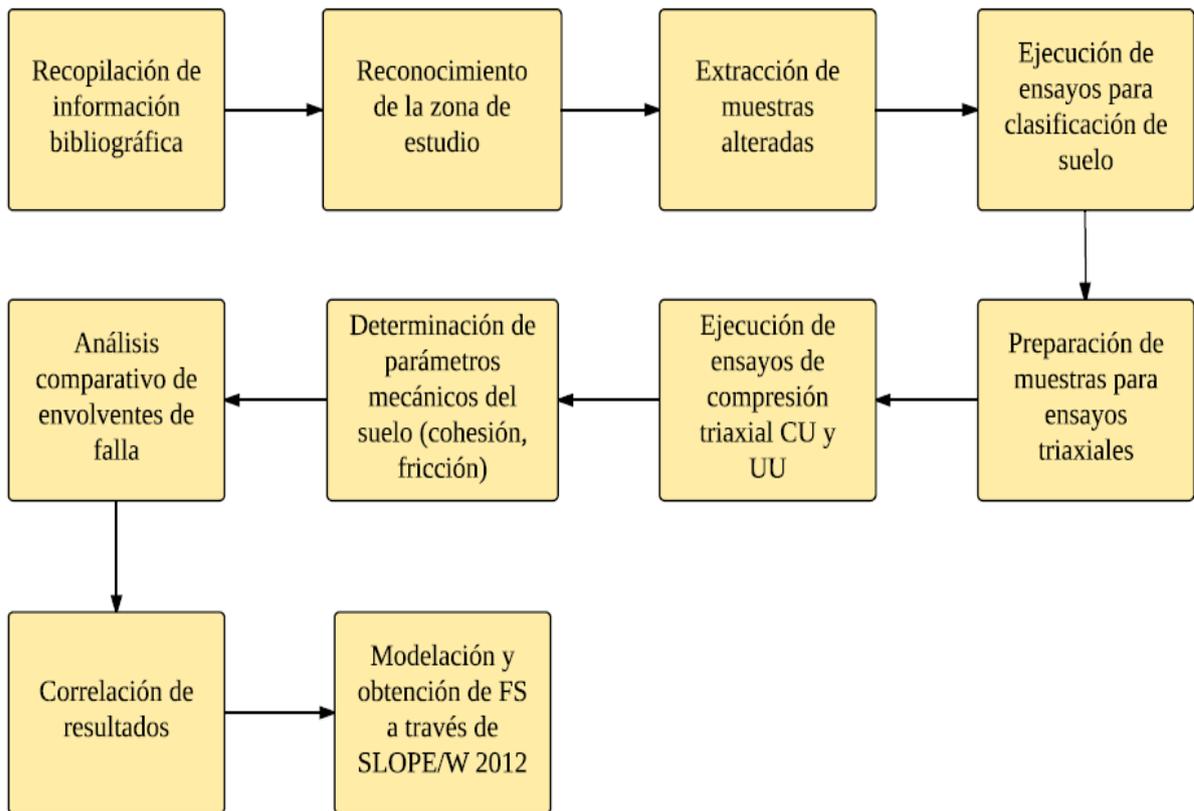


Figura 7. Metodología empleada.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

2.2 Zona de estudio.

Corresponde a un talud ubicado en el barrio Ciudad Victoria al noreste de la ciudad de Loja. El talud se encuentra al final de la calle Dolores Cacuango tal como se indica en la Figura 8.



● Talud en estudio
 (-4.002282, -79.235510)

Figura 8. Barrio Ciudad Victoria – ubicación del talud en estudio.

Fuente: Google Maps
Elaboración: El autor.

El talud de estudio ha sido elegido en base al impacto social que este genera en su localidad, puesto que la población asentada a los alrededores presenta características de un estatus social medio a bajo, sus construcciones son de hormigón armado sin acabados y con mano de obra ineficiente por lo que no representan un lugar seguro para vivir y esta situación se ve agravada por un talud en deslizamiento; todo esto se evidencia en la Figura 9.



Figura 9. Situación actual de la zona de estudio.

Fuente: El autor.
Elaboración: El autor.

En el talud de estudio según una inspección visual de campo se reconocieron 3 estratos distribuidos de forma descendente los mismos que son corona de talud, media ladera y pie de

talud. Sin embargo, conforme se recorría la longitud de la zona de estudio se evidenció que el perfil estratigráfico cambiaba y que la media ladera del talud presentaba 2 estratos, por tal motivo se trabajó con un talud conformado por 4 estratos cuyos nombres son: corona de talud, media ladera 1, media ladera 2 y pie de talud.

Los estratos encontrados presentaron características limosas por lo que la zona de estudio se encuentra de acuerdo con la línea de investigación del tema. Además, el talud de estudio servirá únicamente como fuente para la realización de modelaciones de tal forma que se utilice la potencia de sus estratos y su perfil topográfico, esto debido a que se tomaron muestras adicionales con características de suelos limosos que serán adaptadas al relieve del talud para el análisis de estabilidad.

2.3 Clasificación de suelo.

Los ensayos de laboratorio inician con la recolección de muestras representativas en la zona de estudio, para este fin se ha realizado un análisis exploratorio de los datos que aporten resultados relevantes para la investigación.

2.3.1 Toma de muestras.

El tipo de muestra utilizada es de carácter probabilística puesto que se ha elegido una muestra por estrato presente en el talud. Además, el muestreo fue estratificado y para cada estrato se realizó un muestreo aleatorio simple con el fin de asegurar la homogeneidad de las muestras (González, 2008). En la Figura 10 y 11 se puede observar el trabajo en campo.



Figura 10. Extracción de muestra.
Fuente: El autor.
Elaboración: El autor.



Figura 11. Toma de muestra.
Fuente: El autor.
Elaboración: El autor.

Posterior al muestreo, se siguió el procedimiento descrito en la norma ASTM D 4220 para la preservación y transporte de muestras de suelo.

2.3.2 Ensayos de laboratorio.

La clasificación de suelos se la realizó a través del sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), también conocido como sistema de la American Society of Testing Materials (ASTM) el mismo que basa sus criterios en la distribución granulométrica, límite líquido y límite plástico del suelo en análisis (Das, 2012).

Además, los ensayos de laboratorio se realizaron con base a lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de construcción dentro de su apartado geotecnia y cimentaciones (NEC-SE-CM, 2015) de tal forma que se obtuvo el tipo de suelo mostrado en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del suelo.

Suelo de Talud	Contenido de humedad (%)	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice de plasticidad (%)	Clasificación S.U.C. S
Corona	6	39	26	13	SP
Media ladera 1	10	45	28	17	SM-SC
Media ladera 2	15	69	45	24	MH
Pie de talud	24	70	32	38	CH

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

Según se observa en la tabla 1, el talud está conformado 4 estratos distribuidos de la siguiente manera: en la corona por un suelo granular cuya nomenclatura corresponde a una arena mal graduada (SP). En la media ladera 1 el suelo contiene una mezcla de arena con materiales finos pudiendo ser arcillas o limos por lo que su clasificación tiene doble símbolo indicando que puede ser una arena arcillosa (SC) o arena limosa (SM). En la media ladera 2 se tiene un material netamente fino cuyos límites de Atterberg lo clasifican como un suelo limoso de alta compresibilidad (MH). Por último, en el pie de talud se encontró un suelo fino cuyo índice de plasticidad es moderado pudiéndose conocer que es un suelo altamente compresible o elástico por lo tanto se lo ha clasificado como una arcilla de alta plasticidad (CH). Además, se observa que, de los 4 estratos presentes en el talud, las arenas y los limos son los suelos gobernantes. Por ello, su estabilidad dependerá principalmente del ángulo de fricción interna, buzamiento de los estratos y la presión de poros u grado de saturación (Alva, 1994).

La normativa usada para la obtención de los diferentes parámetros fue:

- Contenido de agua, en todas las muestras se usó la norma NTE INEN 690 la cual se referencia en la norma internacional ASTM D 2216.
- Distribución Granulométrica, en todas las muestras se usó la norma ASTM D 422.
- Límite líquido, en todas las muestras se usó la norma NTE INEN 691 la cual está fundamentada en la norma internacional ASTM D 4318.

- Límite plástico e índice de plasticidad, en todas las muestras se usó la norma NTE INEN 692 la cual se referencia en la norma internacional ASTM D 4318.

En las figuras 12 y 13 se puede observar la realización de algunos ensayos.



Figura 12. Límite líquido – pie de talud.
Fuente: El autor.
Elaboración: El autor.



Figura 13. Granulometría – corona de talud.
Fuente: El autor.
Elaboración: El autor.

2.4 Resistencia al corte.

La resistencia al corte de un suelo es muy variable puesto que depende de diversos factores como su estructura, naturaleza, nivel de deformaciones, presión de poros, calidad de muestras (González et al., 2004).

Para esta investigación la resistencia al corte del suelo fue testada en base a los ensayos de compresión triaxial UU y CU; con su respectiva determinación del ángulo de fricción interna (ϕ), la cohesión (c) tanto en parámetros totales como efectivos.

2.4.1 Toma y preparación de muestras.

En estos ensayos se tomaron muestras alteradas e inalteradas de tal forma que la muestra sea representativa se optó por tomarla a una profundidad determinada de 1,50m asegurando la homogeneidad de la extracción.

Al igual que en la clasificación de suelos, se siguió el procedimiento descrito en la norma ASTM D 4220 para la preservación y transporte de muestras de suelo.

La preparación de muestras consistió en una compactación de especímenes usando el molde divisor que nos brinda las dimensiones deseadas para la probeta de ensayo, tal como se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Preparación especímenes para ensayo triaxial.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Una vez compactados los especímenes se procedió a la remoción del molde, y a la obtención del peso, altura y diámetro. De esta forma se constató que los especímenes tuvieran una altura dos veces mayor al diámetro, tal como especifica la normativa. Para efectos de validación de las probetas obtenidas se siguieron las indicaciones de la norma ASTM D 2850: compresión triaxial UU en suelos cohesivos.

2.4.2 Ensayo triaxial no consolidado, no drenado (UU).

El ensayo se realizó en base a la norma ASTM D 2850 y el manejo del equipo fue guiado por el manual de instrucciones de Brainard Killman (1970).

Tal como su nombre lo indica no se necesita una consolidación previa del suelo para ser sometido a la fuerza de corte sólo es necesario aplicarse la presión de confinamiento (σ_3), y además las válvulas de drenaje se encuentran totalmente cerradas en el aparato de ensayo, por lo que no se permite ningún cambio en el volumen de la muestra mientras el esfuerzo desviador ($\Delta\sigma$) es incrementado. Al no permitirse un cambio de volumen la presión de poros se incrementa y se asegura que la relación de vacíos permanezca constante (Holtz & William, 1981).

De esta forma se llega al objetivo de este ensayo y se obtiene la relación entre la fuerza cortante y el esfuerzo normal en condiciones no drenadas para así encontrar la máxima resistencia que puede presentar el suelo frente a sometimientos de carga (González et al.,2004).

Las curvas esfuerzo deformación obtenidas a través de este ensayo se muestran a continuación en la Figura 15.

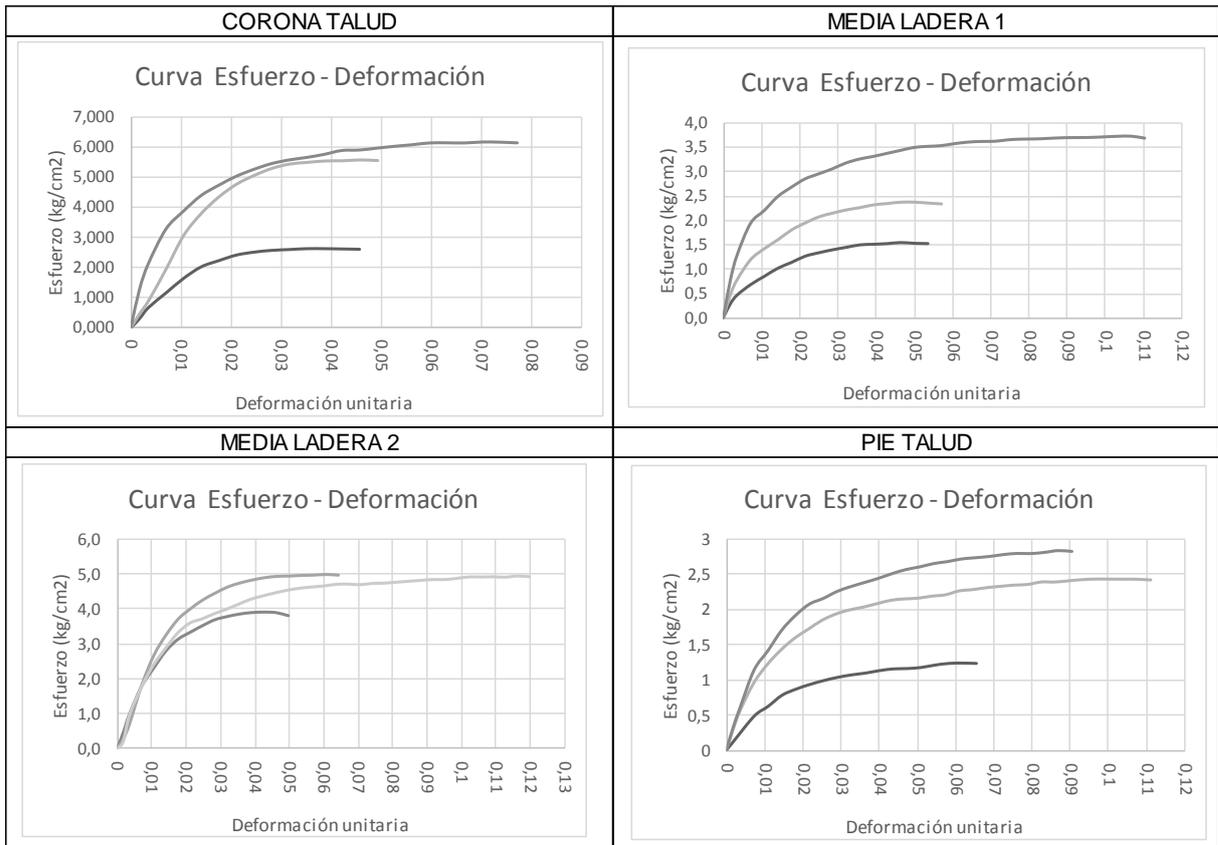


Figura 15. Curvas esfuerzo deformación – triaxial UU.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

2.4.3 Ensayo triaxial consolidado, no drenado (CU).

Este ensayo se lo realizó siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D 4767-11 el manejo del equipo fue guiado por el manual de instrucciones de Brainard Killman (1970), dicha norma comprende el procedimiento de ensayo para la obtención de parámetros mecánicos del suelo a través de un ensayo de compresión triaxial CU. El ensayo fue realizado con un sistema de drenaje saturado y comprendió 3 etapas. Cabe recalcar que se usó el equipo automatizado y el software Lab View 2009 para la obtención de los diferentes parámetros a medirse durante el ensayo. En la figura 16 se observa el equipo de ensayo empleado.



Figura 16. Equipo de ensayo triaxial.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Las etapas consideradas en el ensayo CU fueron:

- **Saturación:** durante este paso se procedió a llenar los espacios vacíos presentes en la probeta de suelo con agua, mediante el método de inicio del ensayo saturado. Durante este proceso es necesario la verificación de la presión de poros la cual se realizó mediante el coeficiente de presión de poros (B) de Skempton (1954). Dicho valor B debe ser mayor o igual a 0,85 para asegurar una saturación completa del espécimen.
Para asegurar una saturación completa de la muestra se aplica una contrapresión (back pressure) a la probeta de ensayo y de igual forma se aumenta la presión de confinamiento para que el esfuerzo de consolidación efectivo sea constante (Holtz & William, 1981).
- **Consolidación:** en esta etapa se busca el equilibrio de la muestra en un estado drenado bajo el esfuerzo de consolidación efectivo que se ha designado previamente en el software, a este esfuerzo también se lo conoce como esfuerzo de falla.
- **Corte:** se hace fallar la probeta de suelo mediante la aplicación de carga axial, considerando la velocidad de aplicación tal que produzca una estabilización de la presión de poros al momento de falla, en esta etapa el drenaje no es permitido.

Durante la etapa de corte, se desarrollan presiones de poro positivas en el espécimen debido a la carga que se está aplicando y al drenaje impedido que se tiene. Por otro lado, se pueden

desarrollar presiones de poro negativas debido a que la muestra se dilata frente al sometimiento de carga. Tener en consideración el signo (\pm) de la presión de poros que se desarrolla es importante por cuanto este valor afecta la magnitud de los esfuerzos efectivos (Holtz & William, 1981).

Las curvas esfuerzo deformación obtenidas a través de este ensayo se encuentran ilustradas en la Figura 17.

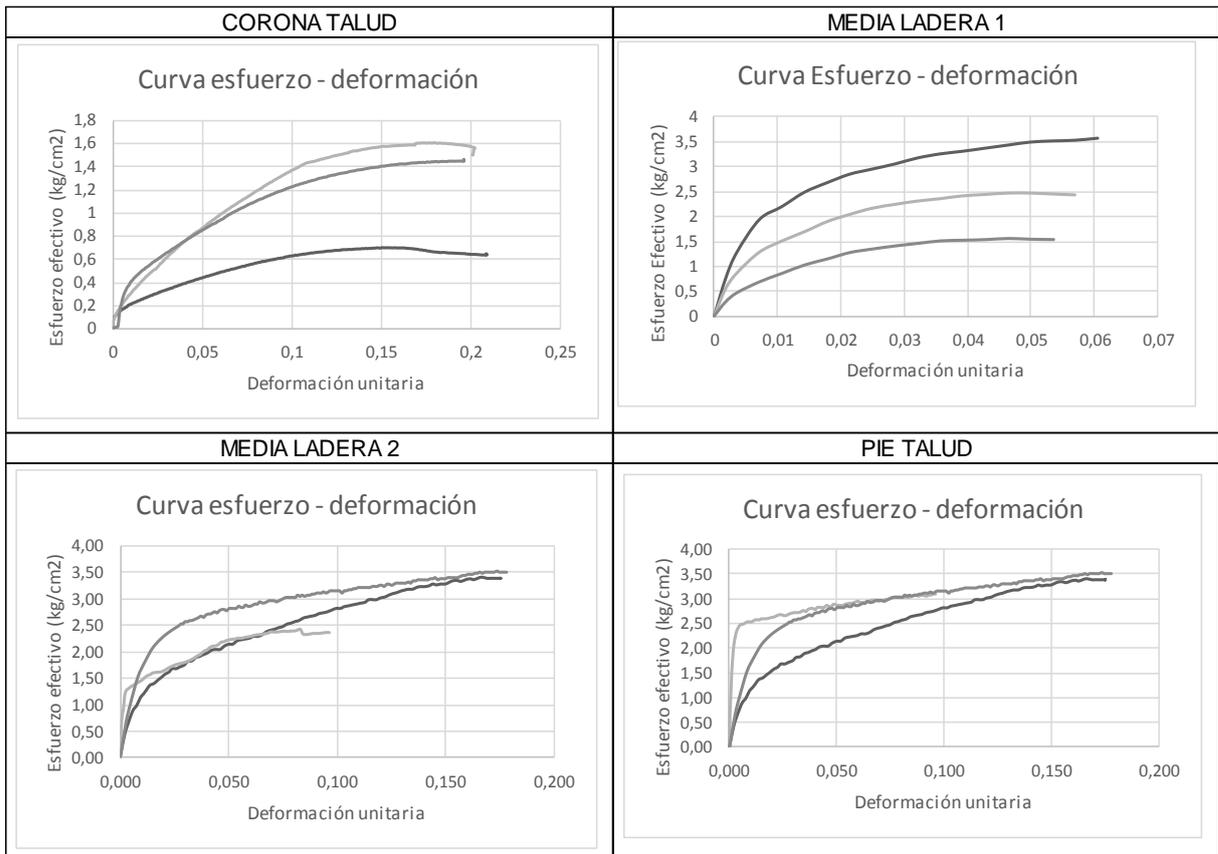


Figura 17. Curvas esfuerzo deformación – triaxial CU.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Por otro lado, la medición de la presión de poros durante el ensayo permitió la obtención de las curvas ilustradas en la figura 18.

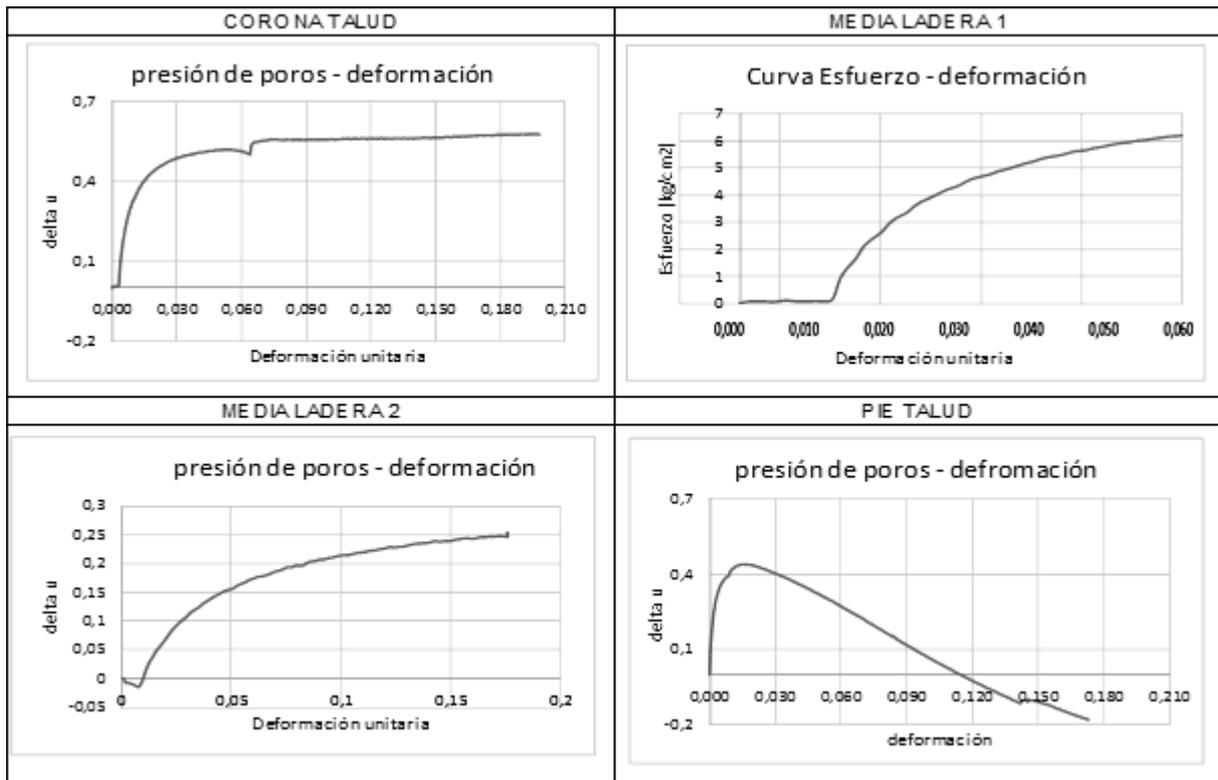


Figura 18. Curvas presión de poros – deformación.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

2.5 Modelación GeoStudio 2012 (SLOPE/W).

Los valores de cohesión y ángulo de fricción interna en condiciones drenadas y no drenadas permiten la estimación del comportamiento del suelo frente al sometimiento de carga, y como consecuencia se pueden realizar un análisis de estabilidad del talud de estudio a corto y largo plazo mediante la obtención del factor de seguridad (FS). Por otra parte, se debe considerar la heterogeneidad e incertidumbre en las propiedades del suelo y añadiéndose a esto la variabilidad en los factores ambientales, por tanto, la ejecución de un análisis probabilístico es parte fundamental en un análisis de estabilidad (Akbas & Huvaj, 2015).

El programa GeoStudio 2012 (SLOPE/W) permite desarrollar análisis probabilísticos de estabilidad usando el método de Monte Carlo y además permite la variación de los parámetros de entrada a través de funciones de distribución: normal, logarítmica, uniforme, entre otras (GEO-SLOPE international, 2012).

Con los parámetros geotécnicos obtenidos a partir de los triaxiales UU y CU se procedió a realizar la modelación respectiva del talud en estudio (Figura 19). Dentro de las consideraciones que se realizaron para la modelación tenemos las siguientes:

- Los métodos de análisis para la determinación del factor de seguridad se realizaron a través de equilibrio límite.
- Se incluyó un nivel piezométrico dentro del talud de tal forma que se generen las peores condiciones de falla.

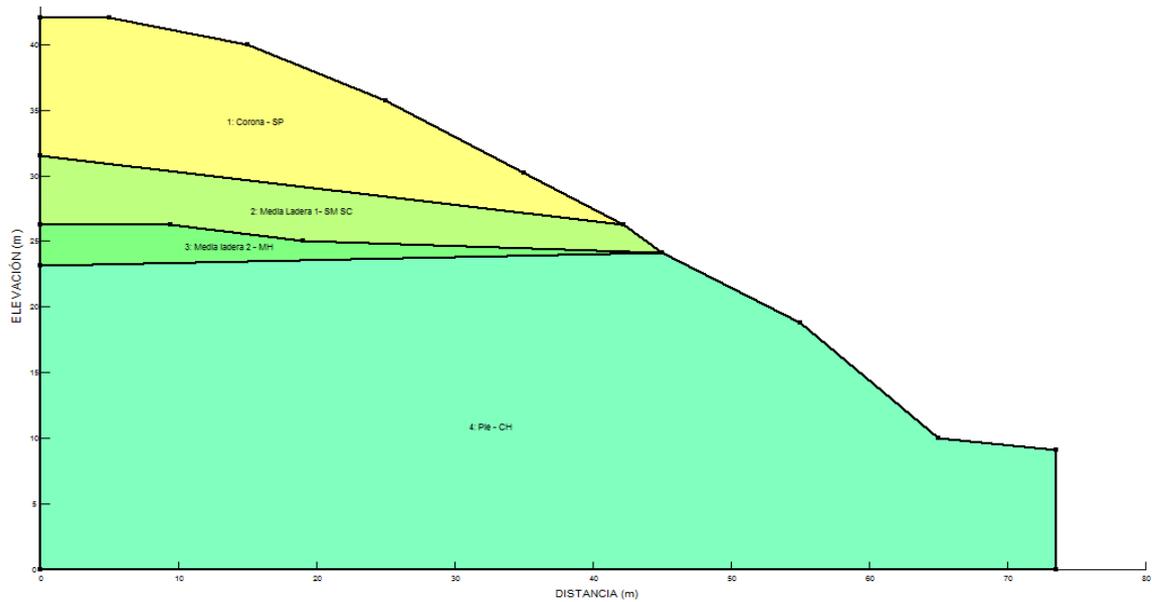


Figura 19. Talud para modelación.
Fuente: GeoStudio 2012 (SLOPE/W).
Elaboración: El autor.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Resistencia al corte.

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos de los ensayos de compresión triaxial CU y UU, para ello se comparan las envolventes de falla tanto en esfuerzos totales como en esfuerzos efectivos para cada tipo de suelo presente en el talud de estudio. Además, mediante un análisis estadístico se obtiene la correlación de los parámetros mecánicos obtenidos, y por último se analizan los factores de seguridad obtenidos a través de modelación en el software GeoStudio SLOPE/W 2012.

3.2 Resistencia al corte

3.2.1 Ensayo triaxial no consolidado, no drenado (UU).

Los suelos encontrados en cada estrato del talud se sometieron a la prueba triaxial UU dando como resultados los valores mostrados en la Tabla 2. Para más detalle de los resultados revisar el anexo B.

Tabla 2. Características mecánicas del suelo en condiciones totales.

Suelo de Talud	Cohesión (kg/cm ²)	Ángulo de fricción (°)
Corona	0,31	22
Media ladera 1	0,35	24
Media ladera 2	0,82	31
Pie de talud	0,84	10

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor

Los resultados observados en la tabla 2 fueron obtenidos a partir de los círculos de Mohr, en la figura 20 se observa a manera de ejemplo los círculos de Mohr del pie de talud con su respectiva envolvente de falla.

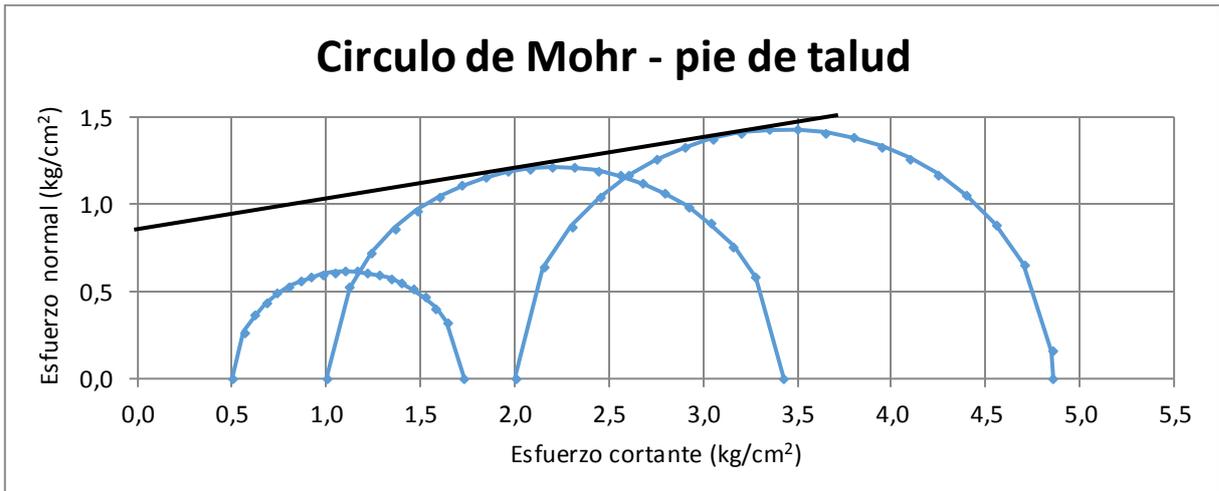


Figura 20. Círculos de Mohr y envolvente de falla UU – pie de talud.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

3.2.2 Ensayo triaxial consolidado, no drenado (CU).

Los suelos encontrados en cada estrato del talud se sometieron a la prueba triaxial UU dando como resultados los valores mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Características mecánicas del suelo en condiciones efectivas.

Suelo de Talud	Cohesión (kg/cm ²)	Ángulo de fricción (°)
Corona	0,39	26
Media ladera 1	0,43	25
Media ladera 2	1,51	33
Pie de talud	0,75	7

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Los resultados observados en la tabla 3 fueron obtenidos a partir de los círculos de Mohr, en la figura 21 se observa a manera de ejemplo los círculos de Mohr del pie de talud con su respectiva envolvente de falla.

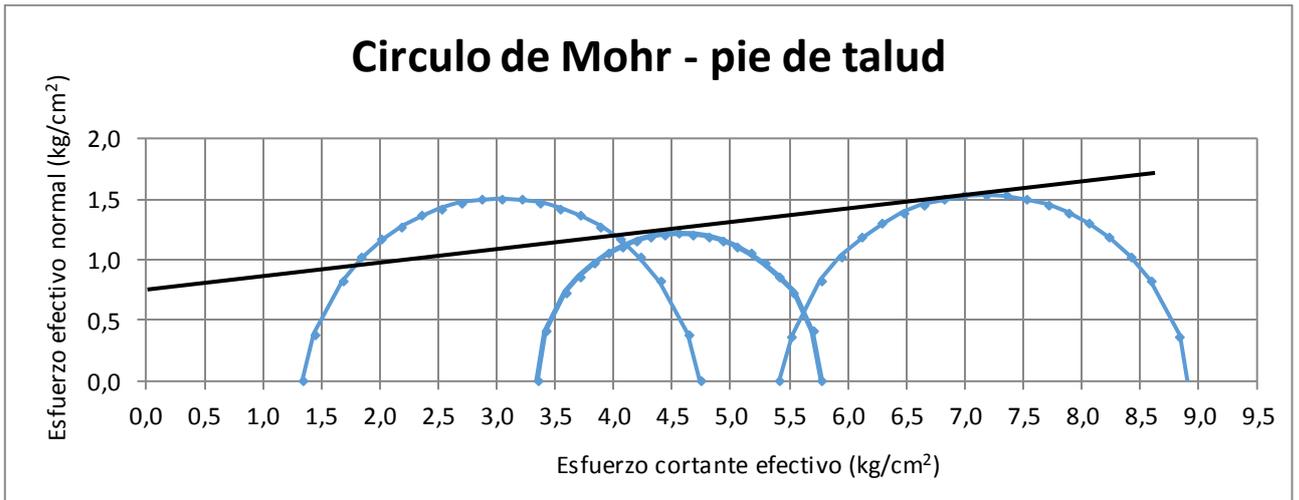


Figura 21. Círculos de Mohr y envolvente de falla CU – pie de talud.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

3.2.3 Análisis de envolventes de falla en ensayos triaxiales UU y CU.

Con base a las envolventes encontradas a través de los ensayos triaxiales CU y UU se realiza una comparación y se analiza la variabilidad de los parámetros mecánicos.

- Corona de talud (SP)

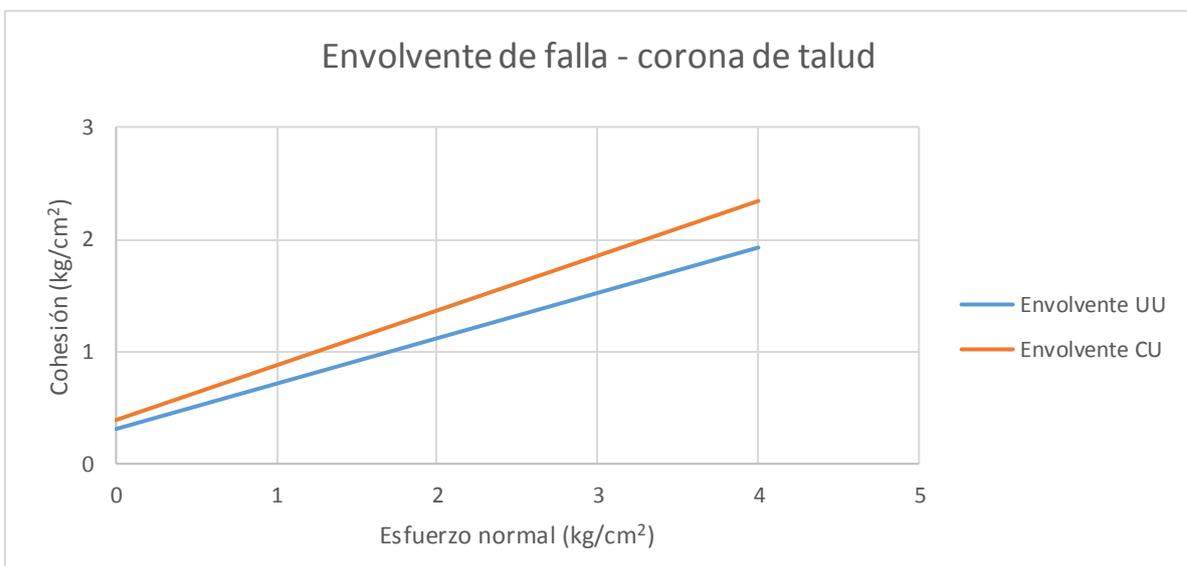


Figura 22. Envlovente de falla UU y envolvente de falla CU – corona de talud.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Según se observa en la Figura 22, para el ensayo UU se obtuvieron los siguientes parámetros en condiciones totales: ángulo de fricción $\Phi = 22^\circ$, cohesión $c = 0,31 \text{ kg/cm}^2$. Mientras que

para el ensayo CU se obtuvieron los mismos parámetros en condiciones efectivas: ángulo de fricción efectivo $\Phi' = 26^\circ$, cohesión $c' = 0,39 \text{ kg/cm}^2$.

La variación que se observa entre los parámetros totales con los efectivos son consecuencia directa de las condiciones a cumplirse en cada ensayo triaxial, es decir que mientras que en el ensayo triaxial UU la muestra es sometida directamente a la carga axial, en el ensayo triaxial CU el espécimen es consolidado antes de ser sometido a la carga lo que favorece a la reducción de la relación de vacíos y por otro lado durante la fase de carga se realizan las respectivas lecturas de la presión de poros (u) que se generan.

Más adelante, en el mismo ensayo triaxial CU, durante la fase de corte, el espécimen que se encuentra en estado “suelto” tal como lo demuestran las curvas esfuerzo deformación (Fig. 17), intenta reducir su volumen y al estar el drenaje restringido se produce un incremento en la presión de poros ($+\Delta u$) y una consecuente reducción de los esfuerzos efectivos provocando que el círculo de Mohr en esfuerzos efectivos se desplace hacia la izquierda del círculo de Mohr en esfuerzos totales (ensayo triaxial UU). Con base a este desplazamiento, al trazar las envolventes de falla se obtiene que los parámetros en condiciones efectivas son mayores a los parámetros en condiciones totales tal como se muestra en la Figura 22.

- Media Ladera 1 (SM-SC)

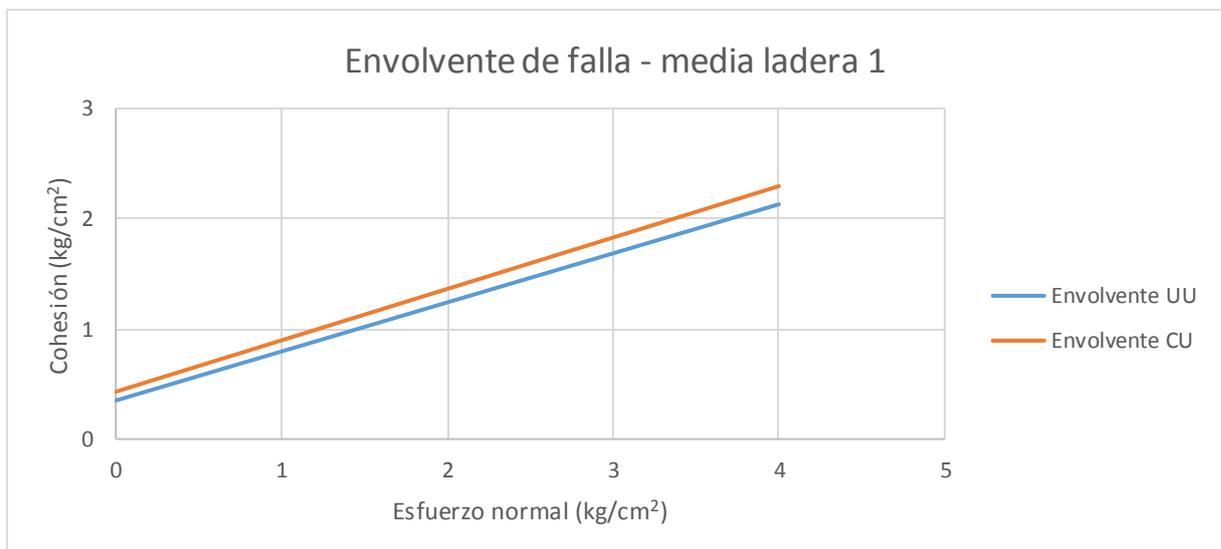


Figura 23. Envolvente de falla UU y envolvente de falla CU - medial ladera 1.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Según se observa en la Figura 23, para el ensayo UU se obtuvieron los siguientes parámetros en condiciones totales: ángulo de fricción $\Phi = 24^\circ$, cohesión $c = 0,35 \text{ kg/cm}^2$. Mientras que

para el ensayo CU se obtuvieron los mismos parámetros en condiciones efectivas: ángulo de fricción efectivo $\Phi' = 25^\circ$, cohesión $c' = 0,43 \text{ kg/cm}^2$.

En esta muestra de suelo se presenta de forma similar lo ocurrido en la muestra de corona del talud. Debido a las condiciones del ensayo triaxial CU se produjo una consolidación del espécimen y a través de la medición de presión de poros ($+\Delta u$) se constató que la muestra reducía los esfuerzos efectivos provocando el desplazamiento del círculo de Mohr en esfuerzos efectivos a la derecha del círculo de Mohr en esfuerzos totales, al trazar las envolventes de falla se obtiene que los parámetros en condiciones efectivas son mayores a los parámetros en condiciones totales tal como se muestra en la Figura 23.

- Media Ladera 2 (MH)

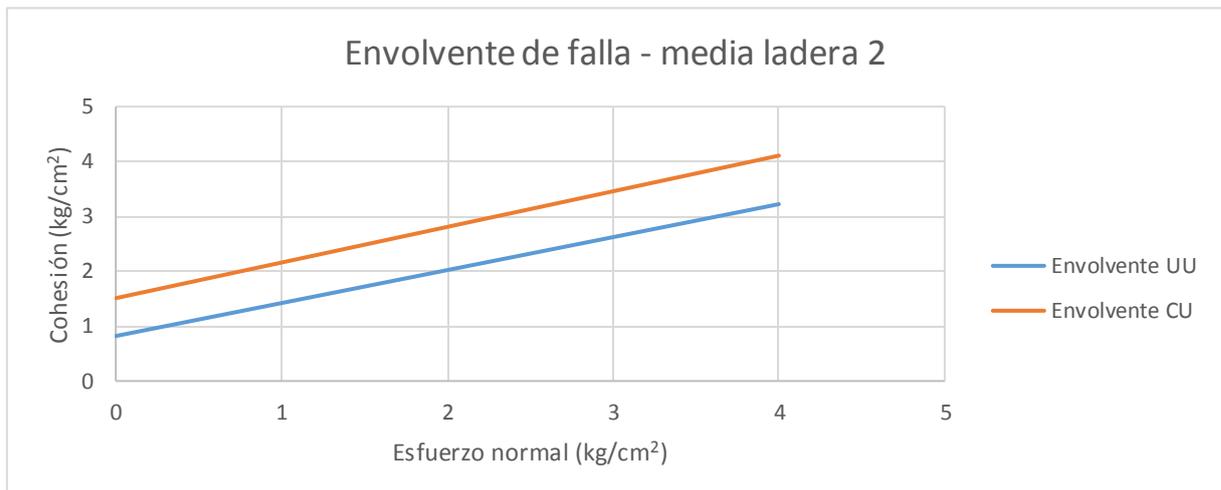


Figura 24. Envolute de falla UU y envolute de falla CU – media ladera 2.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Según se observa en la Figura 24, para el ensayo UU se obtuvieron los siguientes parámetros en condiciones totales: ángulo de fricción $\Phi = 31^\circ$, cohesión $c = 0,82 \text{ kg/cm}^2$. Mientras que para el ensayo CU se obtuvieron los mismos parámetros en condiciones efectivas: ángulo de fricción efectivo $\Phi' = 33^\circ$, cohesión $c' = 1,51 \text{ kg/cm}^2$.

El análisis de las envolventes se basa en los mismos principios de los dos anteriores suelos: corona de talud y media ladera 1.

- Pie de talud (CH)

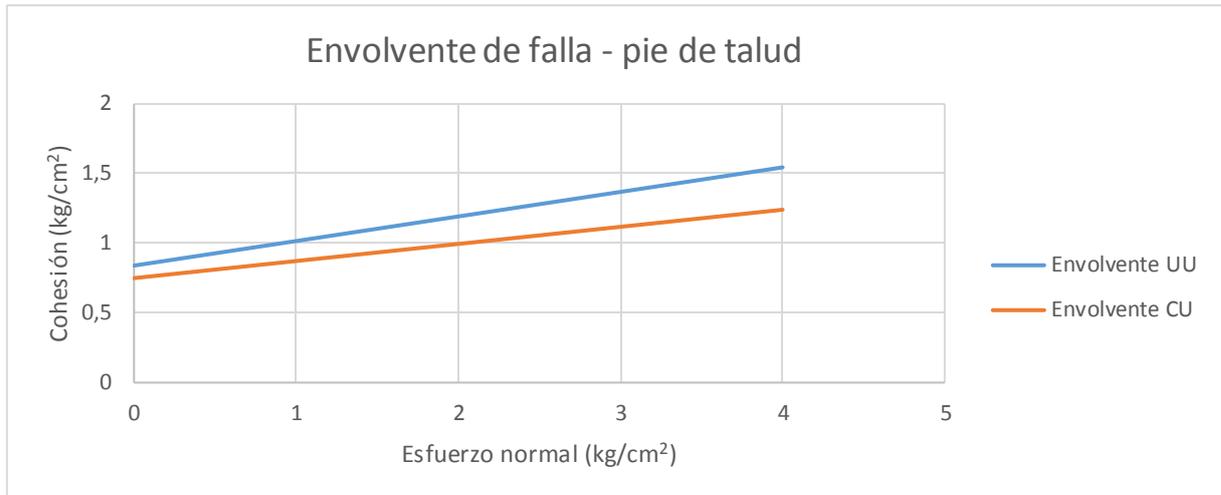


Figura 25. Envolvente de falla UU y envolvente de falla CU – pie de talud.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

Según se observa en la Figura 25, para el ensayo UU se obtuvieron los siguientes parámetros en condiciones totales: ángulo de fricción $\Phi = 10^\circ$, cohesión $c = 0,84 \text{ kg/cm}^2$. Mientras que para el ensayo CU se obtuvieron los mismos parámetros en condiciones efectivas: ángulo de fricción efectivo $\Phi' = 7^\circ$, cohesión $c' = 0,75 \text{ kg/cm}^2$.

A diferencia de los suelos anteriores, la Figura 25 muestra que la envolvente de parámetros totales se encuentra sobre la envolvente de parámetros efectivos. Este caso se ha dado debido a que la arcilla ensayada se encuentra sobre consolidada, esto se demuestra a través de la comparación del contenido de humedad CH con los límites de Atterberg, en base a la Tabla 1 se tiene que el valor de CH (24%) es más cercano al valor de LP (32%) por lo que se puede asumir que la arcilla se encuentra en un estado de sobre consolidación (Sánchez, 2005).

Esta arcilla sobre consolidada al ser sometida al ensayo triaxial CU intenta expandirse durante la aplicación de la carga de esta forma se producen presiones de poro negativas ($-\Delta u$) lo que afecta directamente a los esfuerzos efectivos haciendo que estos aumenten y que el círculo de Mohr en esfuerzos efectivos se desplace hacia la derecha del círculo de Mohr en esfuerzos totales (ensayo triaxial UU). Con base a este desplazamiento, al trazar las envolventes de falla se obtiene que los parámetros en condiciones efectivas son menores a los parámetros en condiciones totales tal como se muestra en la Figura 25.

3.2.4 Correlación de parámetros mecánicos (Φ , Φ') y (c , c').

Mediante análisis estadístico se encontró la correlación existente entre los parámetros mecánicos de los suelos ensayados tanto en condiciones efectivas como en condiciones totales, a continuación, se presentan las Figuras 26 y 27 correspondientes al valor de cohesión y ángulo de fricción interna respectivamente.

- Correlación entre valores de cohesión.

La correlación entre los valores de cohesión obtenidos a través de los ensayos triaxiales UU y CU es de $R^2 = 0,62$ tal como se observa en la Figura 26.

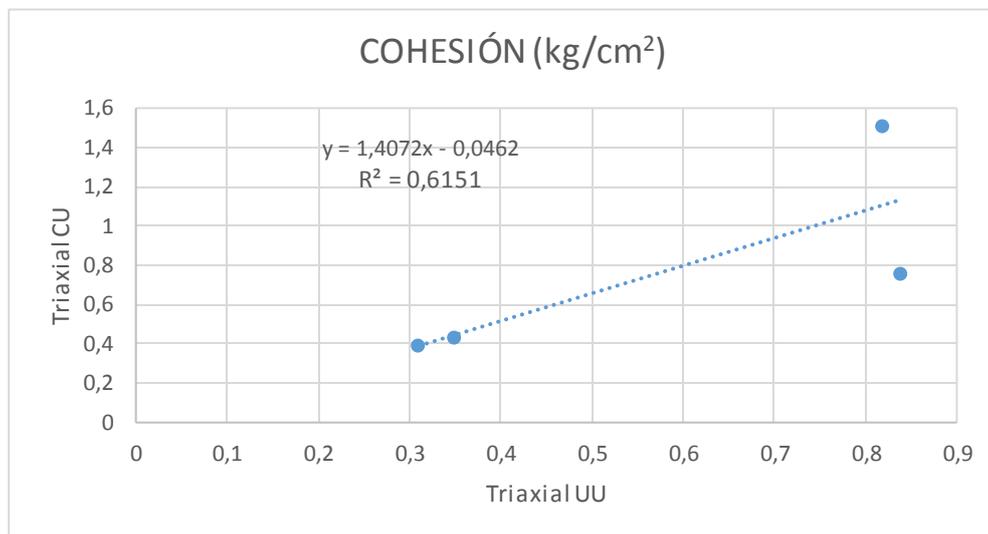


Figura 26. Correlación del valor de cohesión en ensayo triaxial UU y CU.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

La ecuación de ajuste que se obtuvo a través de la correlación de la cohesión en condiciones efectivas (c') y condiciones totales (c) es :

$$c' = 1,4072(c) - 0,0462 \quad (2)$$

La dispersión que presenta la cohesión está reflejada en el valor de correlación de 0,62. Analizando los resultados se tiene que en condiciones efectivas la cohesión aumenta en un promedio de $0,19 \text{ kg/cm}^2$ con respecto al valor en condiciones totales.

La baja correlación observada para la cohesión puede estar ligada a la falta de información sobre el historial de esfuerzos al que han estado sometidos los suelos en el talud por lo que se desconoce si estos se encontraban normalmente consolidados o sobre consolidados. Por otra parte, el tiempo de ejecución de los ensayos también ha sido una variable que ha afectado a los parámetros mecánicos obtenidos, puesto que los ensayos triaxiales CU se realizaron

tres meses después de los triaxiales UU. Por último, podría ser necesario la ejecución de más ensayos triaxiales para que la dispersión sea más homogénea y la correlación sea mayor.

- Correlación entre valores de ángulo de fricción.

La correlación entre los valores de ángulo de fricción obtenidos a través de los ensayos triaxiales UU y CU es de $R^2 = 0,97$ tal como se observa en la Figura 27.

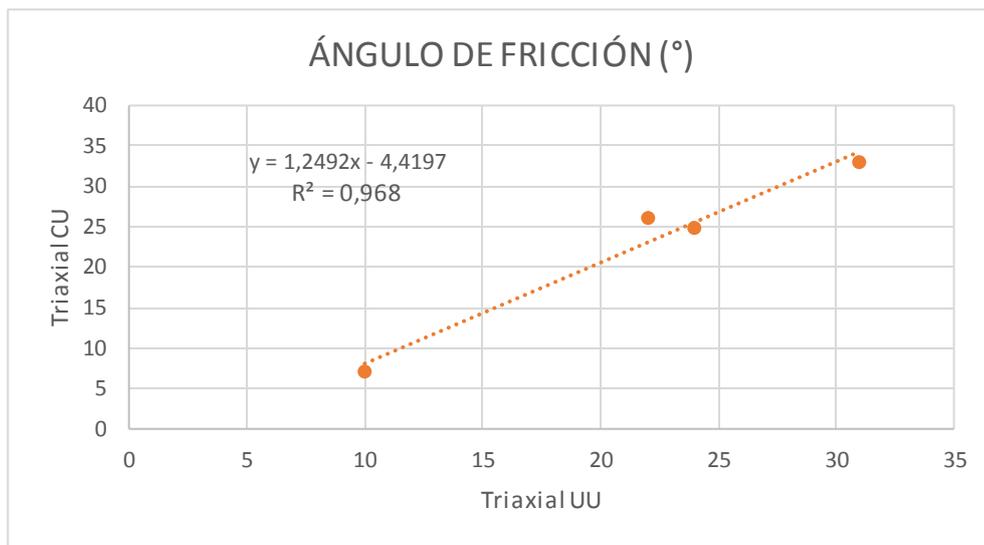


Figura 27. Correlación del valor de ángulo de fricción en ensayo triaxial UU y CU.

Fuente: El autor.

Elaboración: El autor.

La ecuación de ajuste que se obtuvo a través de la correlación del ángulo de fricción en condiciones efectivas (Φ') y condiciones totales (Φ) es :

$$\Phi' = 1,249(\Phi) - 4,4197 \quad (3)$$

Se ha obtenido una buena correlación y se observa una ligera diferencia entre los valores del ángulo de fricción. Analizando dichos valores se tiene que en condiciones efectivas el ángulo de fricción aumenta en un promedio de 1° con respecto al valor en condiciones totales.

3.3 Análisis de estabilidad.

A continuación, se presentan las Figuras 28 y 29 donde se observan los factores de seguridad obtenidos con parámetros totales (triaxial UU) y parámetros efectivos (triaxial CU) respectivamente.

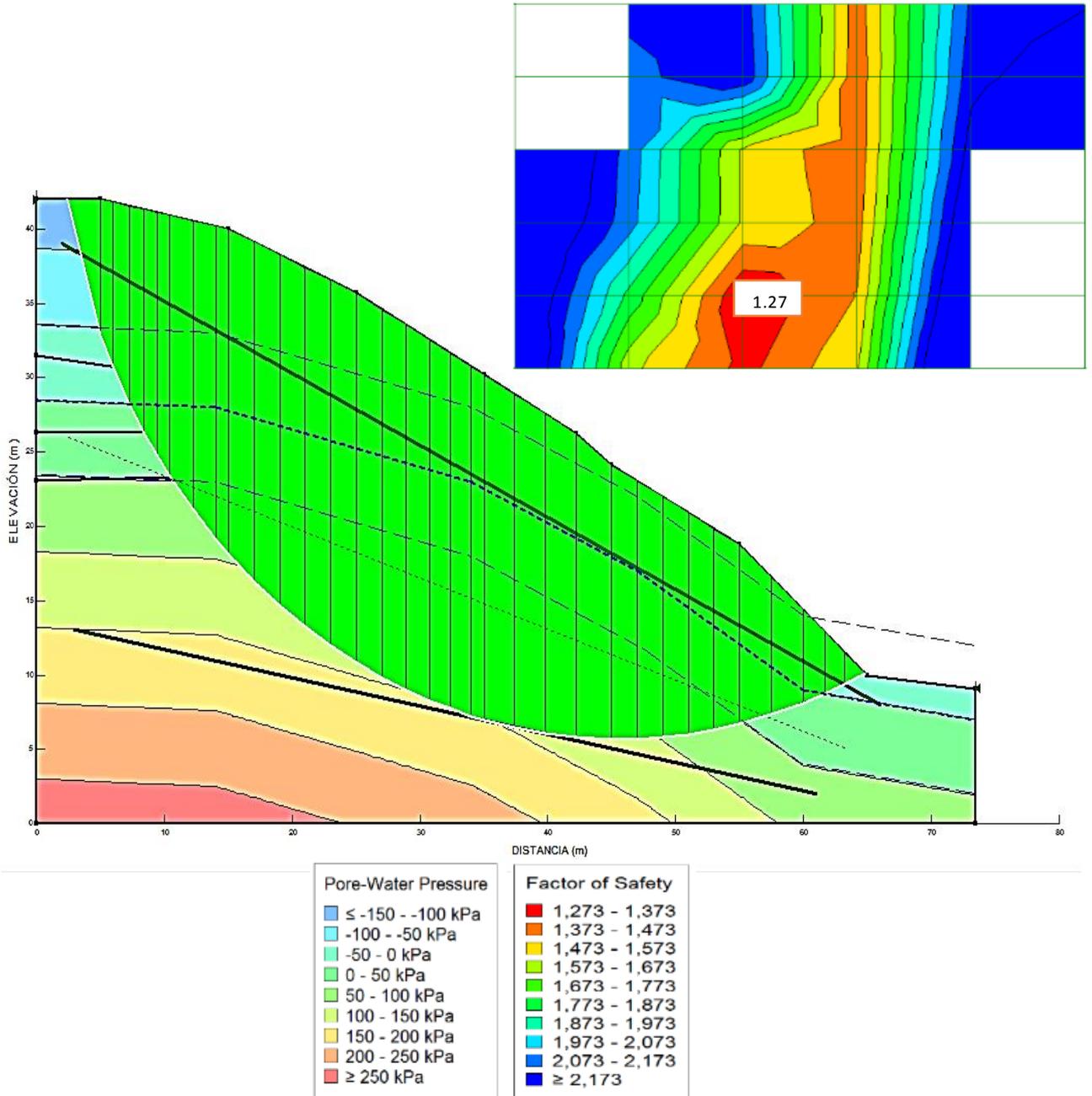


Figura 28. Resultados SLOPE/W 2012 – modelación con parámetros en condiciones totales.
Fuente: GeoStudio2012 (SLOPE/W).
Elaboración: El autor.

En la figura 28 se observan los resultados obtenidos al modelar el talud bajo parámetros de corte en condiciones totales obteniéndose un factor de seguridad (FS) de 1,27. Además se observa la variación de la presión de poros la misma que va desde un valor negativo (-100 KPa) en la superficie de deslizamiento, esto debido a que la línea piezométrica se encuentra por debajo de la superficie y llega hasta un valor de 250KPa en la parte interna del talud donde se tiene un suelo completamente saturado.

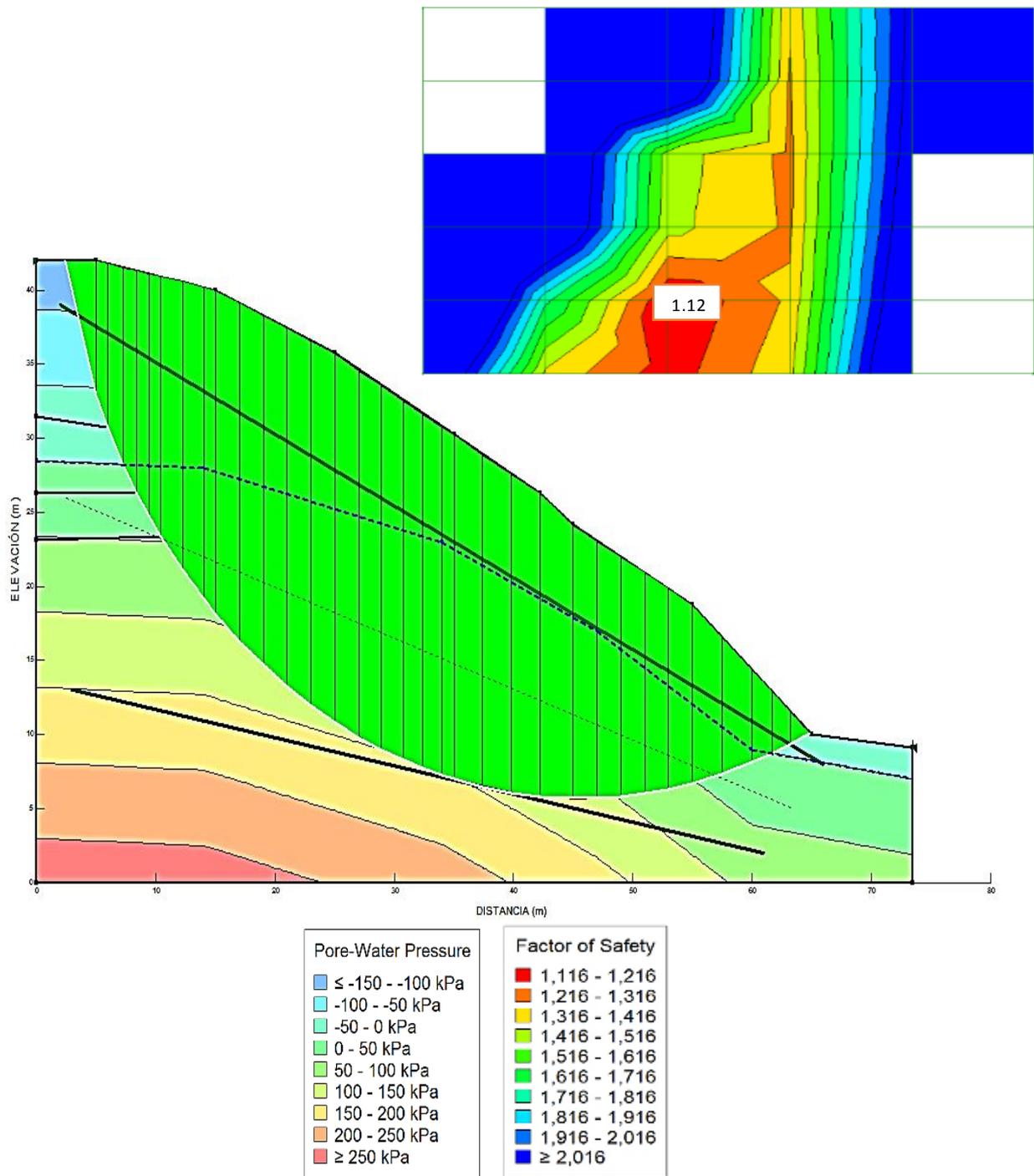


Figura 29. Resultados SLOPE/W 2012 – modelación con parámetros en condiciones efectivas.
Fuente: GeoStudio 2012 (SLOPE/W)
Elaboración: El autor.

En la figura 29 se observan los resultados obtenidos al modelar el talud bajo parámetros de corte en condiciones efectivas obteniéndose un factor de seguridad (FS) de 1,12. Además se

observa la variación de la presión de poros la misma que tiene un comportamiento similar al presentado en la figura 28.

Comparando los resultados obtenidos se observa que en condiciones totales el valor de FS es mayor al FS obtenido en condiciones efectivas.

CONCLUSIONES

A través de esta investigación, con base en la metodología empleada y resultados obtenidos respecto al comportamiento de suelos limosos se concluye:

- La elección de la zona de estudio se encuentra en base al requerimiento de la investigación y según la inspección visual de campo se observó que el perfil estratigráfico, a lo largo de la longitud del talud, es cambiante puesto que en la media ladera del talud se presentaron 2 estratos. Por lo tanto, el talud de estudio está conformado por 4 estratos siendo éstos: corona de talud, media ladera 1, media ladera 2 y pie de talud.
- De acuerdo con la clasificación de suelos se obtuvo: la corona del talud es un suelo granular clasificado como arena mal graduada (SP). En la media ladera 1 el suelo contiene una mezcla de arena con materiales finos por lo que su clasificación tiene doble símbolo indicando que puede ser una arena arcillosa (SC) o arena limosa (SM). En la media ladera 2 se tiene un material netamente fino clasificado como limo de alta compresibilidad (MH). Por último, en el pie de talud se encontró un suelo fino cuyo índice de plasticidad es moderado y se lo ha clasificado como una arcilla de alta plasticidad (CH).
- Los valores de los parámetros mecánicos del suelo (ángulo de fricción interna y cohesión) obtenidos a través del ensayo triaxial UU o CU están relacionados fundamentalmente con el tipo de muestras extraídas, densidad relativa y contenido de humedad especímenes testados, presión de confinamiento (σ_3) e historial de esfuerzos al que ha sido sometido del suelo.
- El ángulo de fricción interna obtenido en el ensayo triaxial UU (condiciones totales) no tiene variabilidad significativa con respecto al obtenido en el ensayo triaxial CU (condiciones efectivas) ya que existe una diferencia promedio de 1°. Además, la correlación que presentan los resultados es muy buena con un valor de 0,97.
- A diferencia del ángulo de fricción interna, el valor de cohesión si presenta variabilidad en los resultados obtenidos a partir de los ensayos triaxiales UU (condiciones totales) y CU (condiciones efectivas) ya que se obtuvo una correlación de 0,67. Sin embargo, esto puede ser producto de la falta de información sobre el historial de esfuerzos al

que han estado sometidos los suelos en el talud por lo que se desconoce si estos se encontraban normalmente consolidados o sobre consolidados.

- El aumento o disminución de los esfuerzos efectivos (triaxial CU) con respecto a los esfuerzos totales (triaxial UU) está ligado a la presión de poros (u) que se desarrolla durante la fase de carga, y esto a su vez está relacionado con la densidad de las muestras e historial de esfuerzos del suelo.
- EL aumento de la presión de poros durante la fase de carga del espécimen (triaxial CU) produce la disminución de los esfuerzos efectivos con respecto de los totales dando como resultado un aumento de las propiedades mecánicas del suelo en condiciones efectivas (Φ' y c'), esto se evidenció en los suelos que conforman la corona de talud, media ladera 1 y media ladera 2.
- La disminución de la presión de poros durante la fase de carga del espécimen (triaxial CU) produce el aumento de los parámetros efectivos con respecto de los totales dando como resultado una disminución de las propiedades mecánicas del suelo en condiciones efectivas (Φ' y c'), esto se evidenció en el suelo que conforma el pie de talud (CH) en el cual se obtuvo una presión de poros negativa.
- La modelación del talud en el software GeoStudio 2012 (Slope/W), antes de ejecutar el análisis de estabilidad, se encuentra influenciada por la experticia profesional en la interpretación del buzamiento de los estratos, ubicación línea piezométrica, método de cálculo a emplear, entrada de parámetros mecánicos y la correcta disposición de las mallas que corresponden a la posible superficie de falla y radio de la superficie de falla.
- El resultado de un análisis de estabilidad debe ser interpretado con moderado rigor ya que depende del criterio profesional el aceptar o rechazar dicho resultado basándose principalmente en la superficie de falla obtenida en comparación a la situación actual que presenta el talud de estudio y en los parámetros mecánicos empleados ya sean totales o efectivos.
- El análisis de estabilidad realizado presenta cierta diferencia entre los factores de seguridad obtenidos con parámetros mecánicos efectivos con respecto a los totales, pues se evidenció que en condiciones efectivas el FS es de 1,12 mientras que en condiciones totales el FS es de 1,27.

RECOMENDACIONES

De la investigación realizada y con base en la metodología empleada y en los resultados obtenidos se recomienda:

- La extracción en campo de suelo debe tener por objetivo la obtención de muestras inalteradas para llegar a resultados más fiables que reflejen de forma clara el posible comportamiento del suelo.
- Realizar el ensayo de consolidación bajo la norma correspondiente brindará un mejor criterio al momento de la interpretación de los parámetros de corte obtenidos, puesto que se corroborarán los resultados teniendo como base el estado de consolidación del suelo permitiendo un acertado análisis en su comportamiento.
- El uso de probetas remoldeadas debe estar restringido y sólo usarse cuando no se presenten las condiciones para la obtención de muestras inalteradas, además su fabricación debe estar acorde al contenido de humedad y densidad que presente el material in situ.
- El tipo de ensayo a usar para la obtención de parámetros mecánicos del suelo se encuentra a criterio del profesional, sin embargo, se recomienda el uso del ensayo triaxial debido a su versatilidad y variedad de escenarios que puede simular.
- El ensayo triaxial CD (consolidado, drenado) es el más recomendado para la obtención de la resistencia al corte de los suelos, sin embargo, su uso está restringido por el tiempo que lleva su ejecución de tal forma que como alternativa más económica y más rápida se emplean, según las necesidades del proyecto, el triaxial CU o UU.
- La realización del ensayo triaxial debe estar guiada bajo las normas correspondientes, además el equipo a utilizarse debe estar debidamente calibrado de tal forma que se asegure la correcta toma de datos. En lo que respecta al triaxial CU de debe tener especial cuidado en la fase de saturación y consolidación de la muestra ya que de esto depende la correcta medición de la presión de poros y su incidencia en los parámetros de corte que se obtengan.
- La ejecución de un análisis de estabilidad está basada en el criterio técnico y experiencia del profesional, puesto que factores como el buzamiento de los estratos, presencia de agua, parámetros mecánicos a emplear y método de análisis a utilizar

inciden directamente en el resultado. Por otra parte, la correcta apreciación en campo del talud permite una acertada colocación de las mallas que corresponden a la posible superficie de falla y radio de la superficie de falla.

- El factor de seguridad obtenido en un análisis de estabilidad debe representar la realidad in situ de la zona de estudio, por lo que el criterio y experiencia del profesional juegan un papel fundamental al momento de la interpretación de los resultados ya que la superficie de falla y el tipo de falla que arroja el programa debe estar acorde a la situación presente en campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Akbas, B., & Huvaj, N. (2015). Probabilistic Slope Stability Analyses Using Limit Equilibrium and Finite Element Methods. *Geotechnical Safety and Risk*, 716-721.
- Alva, J. (1994). *Notas sobre análisis de estabilidad*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Arriaza, M. (2006). *Guía Práctica de Análisis de de Datos*. Andalucía: Ideagonal Diseño Gráfico.
- Brainard-Kilman. (1970). *Libro de instrucciones de el libro de Brainard - Kilman*. Atlanta.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa.
- Das & Sobhan. (2014). *Principles of geotechnical engineering*. Stamford, USA: Cengage Learning.
- Das. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México: Cengage Learning.
- Escobar, C., & Duque, G. (2016). *Geotecnia para el trópico andino*. Manizales.
- Estrada, J., & Ramírez, J. (2012). *Ensayo Triaxial*. Cagua.
- GEO-SLOPE international, I. (2012). *Stability Modeling with SLOPE/W*. Calgary: GEO-SLOPE International, Ltd.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2004). *Ingeniería Geológica*. España: ORIMU.
- González, C. (2008). *OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid: http://ocw.upm.es/proyectos-de-ingenieria/sistemas-de-informacion-geografica-tecnicas-cuantitativas-para-gestion-de-datos/contenidos/WEB/TEORIA/07exploracion_de_datos.pdf
- González, M., & Pesántez, O. (2015). *ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS ENVOLVENTES EFECTIVAS OBTENIDAS CON ENSAYOS TRIAXIALES CONSOLIDADO DRENADO Y CONSOLIDADO NO DRENADO, CON MEDICIÓN EN PRESIÓN DE PORO, EN SUELOS COMPACTADOS SATURADOS DE LA PRESA CHOMPAJE 2 DE LA PROVINCIA DE LOS RÍOS*. Cuenca.
- Harvey, J. (1987). *Geología para ingenieros geotécnicos*. México: Editorial Limusa S.A. de C.V.

- Holtz, R., & William, K. (1981). *An introducción to Geotechnical Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Jordán, A. (2006). *Manual de Edafología*. Sevilla.
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de suelos. Tomo 1. Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa Editores.
- Lambe, T., & Whitman, R. (1969). *Soil Mechanics*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Lambrechts, J., & Leonards, G. (1978). Effects of stress history on deformation of sand. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 1371-1378.
- Lee, K. (1965). *Triaxial compressive strength of saturated sands under seismic loading conditions*. Berkeley: University of California.
- Leoni, A. (s.f.). <http://unlp.academia.edu/ProfIngAugustoJos%C3%A9Leoni>. Obtenido de <http://unlp.academia.edu/ProfIngAugustoJos%C3%A9Leoni>: https://www.academia.edu/23574198/RESISTENCIA_AL_CORTE
- NEC-SE-GC. (2015). *Geotécnia y cimentaciones*. Quito.
- Orellana, L. (2001). *Estadística Descriptiva*.
- Pachacama, N. (2015). *CARACTERIZACIÓN DE CANGAHUAS MEDIANTE ENSAYOS TRIAXIALES NO CONSOLIDADOS - NO DRENADOS (UU) Y CONSOLIDADO NO DRENADO (CU), APLICACIÓN A LA ESTABILIDAD DE TALUDES*. Sangolquí.
- Rosales, R. (2007). *VARIACIÓN DE LA COHESIÓN Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA OBTENIDOS POR LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL CON MATERIALES GRANULARES Y ARCILLOSOS*. Guatemala.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Montevideo.
- Sánchez, F. (19 de enero de 2005). *geounefm*. Obtenido de geounefm: <http://geounefm.blogspot.com>
- Skempton, A. (1954). The pore-pressure coefficients A and B. *Géotechnique*, 77-101.
- Suárez, J. (2009). *DESLIZAMIENTOS. ANÁLISIS GEOTÉCNICO VOL. 1*. Colombia: U.I.S. ESCUELA DE FILOSOFÍA.
- Tarback, E., Lutgens, F., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S. A.

Valerio, O. (2011). Ensayos triaxiales para suelos. *Métodos y Materiales*, 14-24.

Normativa empleada

NTE INEN 0686. (1987). Mecánica de suelos. Toma de muestras alteradas.

NTE INEN 0687. (1982). Mecánica de suelos. Toma de muestras inalteradas.

ASTM D 422-63. (2008). Standard test method for Particle – Size analysis soils.

ASTM D 2216. (1998). Método de prueba estándar para la determinación en el laboratorio del contenido de humedad de suelos y rocas por masa. *Journal of chemical information and modeling*, 53(9), 1688-1699.

ASTM D 4318. (2005). Límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos.

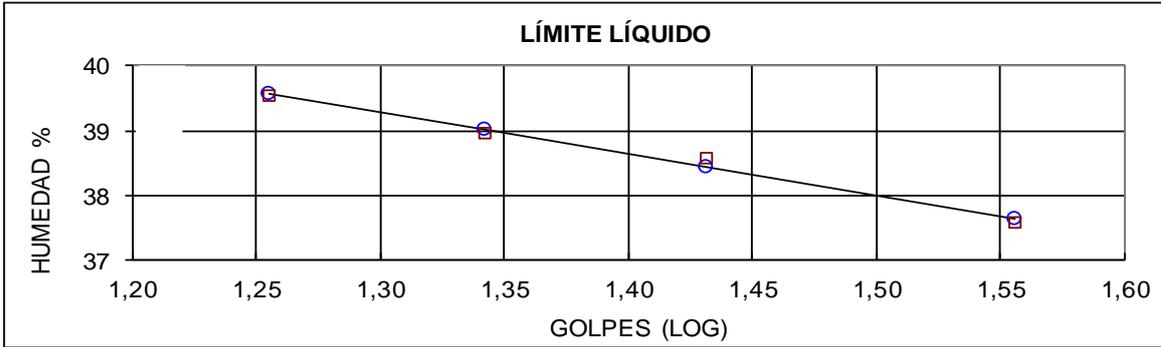
ASTM D 2852. (2007). Standard test method for unconsolidated – undrained triaxial compression test.

ASTM D 4767-11. Standard test method for consolidated undrained triaxial compression test.

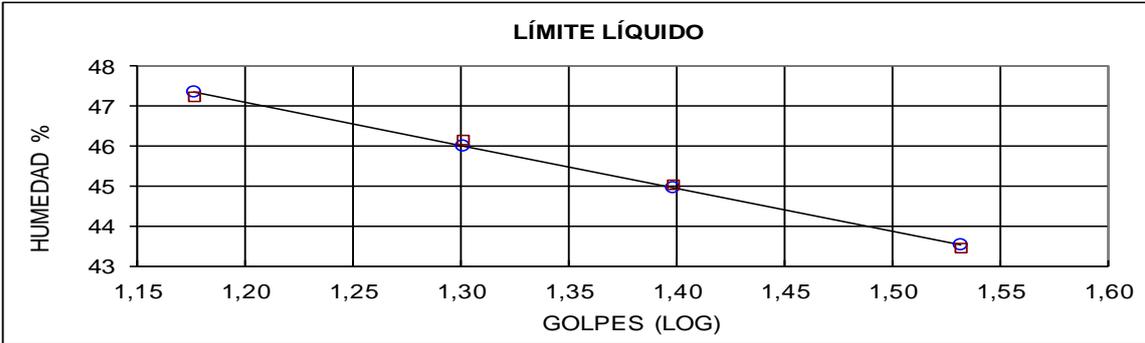
ANEXOS

Anexo A. Clasificación de suelos.

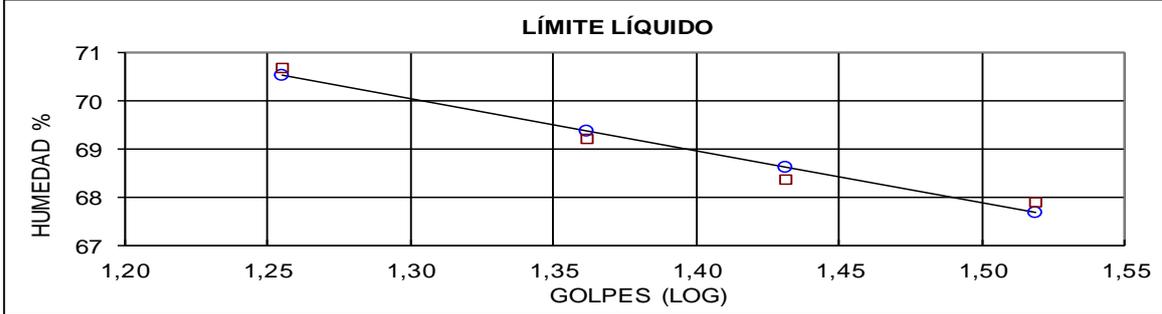
Corona de talud.

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
PROYECTO : Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU						
OBRA: Trabajo fin de titulación		NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27				
LOCALIZACIÓN: LOJA - Barrio "Ciudad Victoria"		CALICATA: -				
SOLICITADO: Director Trabajo de Fin de Titulación		MUESTRA: Corona				
REALIZADO: Adrián Fernando Contento Loyola		PROFUNDIDAD: 1.5 m				
FECHA: 2016-12-12						
1. CONTENIDO DE AGUA	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
		323,58	273,74	60,01	23,32	
		279,44	237,42	58,69	23,51	
		291,48	245,04	53,79	24,28	23,70
2.- LÍM. LÍQUIDO	18	81,44	78,21	70,04	39,53	
	22	73,82	71,21	64,51	38,96	
	27	83,85	79,51	68,26	38,58	
	36	79,98	77,56	71,12	37,58	0,00
3.- LÍMITE PLÁSTICO		70,18	70,06	69,60	26,09	
		69,75	69,60	69,00	25,00	25,72
		65,56	65,44	64,98	26,09	
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 2434,25		(H/S)	S	GRAVA 8		
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			2434,25	ARENA 88		
				FINOS 4		
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 39		
1"	18,96	1	99	LP = 26		
3/4"	18,96	1	99	IP = 13		
1/2"	25,01	1	99	SUCS : SP		
3/8"	42,97	2	98	AASHTO: A-2-6		
No. 4	197,13	8	92	IG(86): 0		
No. 10	719,99	30	70	IG(45): 0		
No. 40	1997,43	82	18			
No. 200	2341,38	96	4			
						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arena mal graduada						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por el profesional en formación y llevada al laboratorio de la UTPL.						
Msc. Carmen Antonieta Esparza Villalba DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN				Sr. Adrián Fernando Contento Loyola PROFESIONAL EN FORMACIÓN		

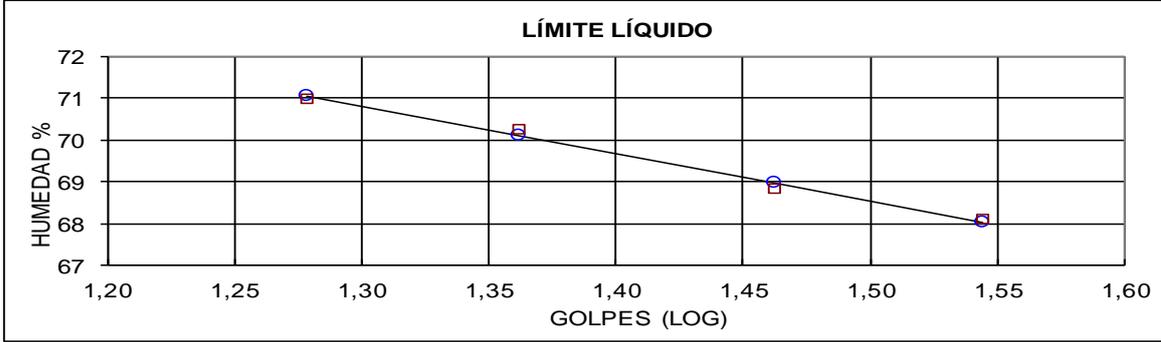
Media ladera 1.

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
PROYECTO : Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU						
OBRA: Trabajo fin de titulación		NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27				
LOCALIZACIÓN: LOJA - Barrio "Ciudad Victoria"		CALICATA: -				
SOLICITADO: Director Trabajo de Fin de Titulación		MUESTRA: Media ladera 1				
REALIZADO: Adrián Fernando Contento Loyola		PROFUNDIDAD: 1.5 m				
FECHA: 2016-12-12						
1. CONTENIDO DE AGUA	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
		426,12	392,01	56,44	10,16	
		333,69	308,39	66,93	10,48	
		375,47	344,88	53,60	10,50	10,38
2.- LÍM. LÍQUIDO	15	37,24	35,02	30,32	47,23	
	20	35,71	34,08	30,55	46,18	
	25	74,60	72,92	69,19	45,04	
	34	64,47	62,88	59,22	43,44	44,98
3.- LÍMITE PLÁSTICO		53,43	53,23	52,53	28,57	
		54,22	53,86	52,57	27,91	28,24
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO INICIAL = 705,63 (H/S) S				GRAVA 5		
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 705,63				ARENA 56		
				FINOS 39		
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 45		
1"	0,00	0	100	LP = 28		
3/4"	0,00	0	100	IP = 17		
1/2"	0,00	0	100	SUCS : SM-SC		
3/8"	6,03	1	99	AASHTO: A-7-6		
No. 4	35,97	5	95	IG(86): 3		
No. 10	67,65	10	90	IG(45): 3		
No. 40	278,87	40	60			
No. 200	430,56	61	39			
						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arena limosa - Arena Arcillosa						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por el profesional en formación y llevada al laboratorio de la UTPL.						
Msc. Carmen Antonieta Esparza Villalba DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN				Sr. Adrián Fernando Contento Loyola PROFESIONAL EN FORMACIÓN		

Media ladera 2.

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL							
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN							
PROYECTO : Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU							
OBRA: Trabajo fin de titulación		NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27					
LOCALIZACIÓN: LOJA - Barrio "Ciudad Victoria"		CALICATA: -					
SOLICITADO: Director Trabajo de Fin de Titulación		MUESTRA: Media ladera 2					
REALIZADO: Adrián Fernando Contento Loyola		PROFUNDIDAD: 1.5 m					
FECHA: 2016-12-12							
1. CONTENIDO DE AGUA	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO	
		281,40	251,69	52,77	14,94		
		312,17	280,29	59,19	14,42		14,87
		284,75	254,30	54,65	15,25		
2.- LÍM. LÍQUIDO	18	37,97	34,88	30,51	70,71	68,99	
	23	37,76	34,79	30,50	69,23		
	27	38,23	35,16	30,67	68,37		
	33	39,13	35,66	30,55	67,91		
3.- LÍMITE PLÁSTICO		31,49	31,21	30,60	45,90	45,49	
		68,92	68,28	66,86	45,07		
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 967,56 (H/S) S				GRAVA 0			
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 967,56				ARENA 3			
				FINOS 97			
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 69			
1"	0,00	0	100	LP = 45			
3/4"	0,00	0	100	IP = 24			
1/2"	0,00	0	100	SUCS : MH			
3/8"	0,00	0	100	AASHTO: A-7-5			
No. 4	0,00	0	100	IG(86): 33			
No. 10	0,07	0	100	IG(45): 18			
No. 40	1,09	0	100				
No. 200	25,91	3	97				
							
CLASIFICACIÓN SUCS: Limo de alta compresibilidad							
Observaciones: La toma de muestras es realizada por el profesional en formación y llevada al laboratorio de la UTPL.							
Msc. Carmen Antonieta Esparza Villalba DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN				Sr. Adrián Fernando Contento Loyola PROFESIONAL EN FORMACIÓN			

Pie de talud.

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
PROYECTO : Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU						
OBRA: Trabajo fin de titulación		NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27				
LOCALIZACIÓN: LOJA - Barrio "Ciudad Victoria"		CALICATA: -				
SOLICITADO: Director Trabajo de Fin de Titulación		MUESTRA: Pie talud				
REALIZADO: Adrián Fernando Contento Loyola		PROFUNDIDAD: 1.5 m				
FECHA: 2016-12-12						
1. CONTENIDO DE AGUA	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
		323,58	273,74	60,01	23,32	
		279,44	237,42	58,69	23,51	
		291,48	245,04	53,79	24,28	23,70
2.- LÍM. LÍQUIDO	19	39,81	35,92	30,44	70,99	
	23	38,54	35,26	30,59	70,24	
	29	37,50	34,63	30,46	68,82	
	35	37,68	34,84	30,67	68,11	69,69
3.- LÍMITE PLÁSTICO		66,51	66,15	65,02	31,86	
		73,16	72,56	70,71	32,43	32,15
4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN		
PESO IN= 533,39 (H/S) S				GRAVA 0		
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 533,39				ARENA 22		
				FINOS 78		
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 70		
1"	0,00	0	100	LP = 32		
3/4"	0,00	0	100	IP = 38		
1/2"	0,00	0	100	SUCS : CH		
3/8"	0,00	0	100	AASHTO: A-7-5		
No. 4	0,00	0	100	IG(86): 33		
No. 10	6,31	1	99	IG(45): 20		
No. 40	49,74	9	91			
No. 200	118,41	22	78			
						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla de alta plasticidad						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por el profesional en formación y llevada al laboratorio de la UTPL.						
Msc. Carmen Antonieta Esparza Villalba DIRECTOR DE PROYECTO DE FIN DE TITULACIÓN				Sr. Adrián Fernando Contento Loyola PROFESIONAL EN FORMACIÓN		

Anexo B. Ensayo Triaxial no consolidado – no drenado (UU).

Corona de talud.

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO: <i>Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU</i>	NORMA: ASTM D 2850
LOCALIZACIÓN: Ciudad Victoria	ENSAYO: UU
INSTITUCIÓN: U T P L	TIPO PROB.: Remoldeada
MUESTRA: Corona de talud	CALICATA No.: 1
SOLICITADO:	PROFUND.: 1,50m
FECHA: 02-feb-17	REALIZADO: A.F.C.L.
	INFORME: Lab-UTPL

Hoja 1 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - CORONA DE TALUD

PROBETA No.: 1 Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kg/div
 Presión de conf. [Kg/cm2]: 0,5

Carga	Deform.	ΔL Pulg.	Deform.	F. correc.	Área	sig1 - sig3	Tensión
[Kg]	[mm]	pulg]	Unit. [ε]	[1-ε]	Corregida [cm2]	[Kg / cm2]	Desviadora [Kg / cm2]
0	0	0	0,000	1,000	8,735	0,000	0,000
3,2	5	0,005	0,002	0,998	8,751	0,366	0,311
6,9	10	0,01	0,004	0,996	8,766	0,787	0,670
11,9	20	0,02	0,007	0,993	8,797	1,353	1,152
16,9	30	0,03	0,011	0,989	8,828	1,914	1,630
20,9	40	0,04	0,014	0,986	8,860	2,359	2,009
23,1	50	0,05	0,018	0,982	8,891	2,598	2,213
25,1	60	0,06	0,021	0,979	8,923	2,813	2,396
26,2	70	0,07	0,025	0,975	8,955	2,926	2,492
26,9	80	0,08	0,028	0,972	8,987	2,993	2,549
27,3	90	0,09	0,032	0,968	9,020	3,027	2,578
27,7	100	0,1	0,035	0,965	9,053	3,060	2,606
27,8	110	0,11	0,039	0,961	9,086	3,060	2,606
27,8	120	0,12	0,042	0,958	9,119	3,049	2,597
27,8	130	0,13	0,046	0,954	9,152	3,038	2,587

RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra $\sigma_3 =$ 0,5 kg/cm2
 Esfuerzo Desviador Máximo $\sigma =$ 2,606 kg/cm2
 Valor máximo del esfuerzo vertical $\sigma_1 =$ 3,106 kg/cm2

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
 DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO: Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU

NORMA: ASTM D 2850

LOCALIZACIÓN: Ciudad Victoria

ENSAYO: UU

INSTITUCIÓN: U T P L

TIPO PROB.: Remoldeada

MUESTRA: Corona de talud

CALICATA No.: 1

SOLICITADO:

PROFUND.: 1,50m

FECHA: 02-feb-17

REALIZADO: A.F.C.L.

INFORME: Lab-UTPL

Hoja 2 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - CORONA DE TALUD

PROBETA No.: 2 **Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kg/di**
Presión de conf. [Kg/cm2]: 1

Carga	Deform.	ΔL Pulg.	Deform.	F. correc.	Area	sig1 - sig3	Tensión
[Kg]	[mm]	plg]	Unit. [ε]	[1-ε]	Corregida [cm2]	[Kg / cm2]	Desviadora [Kg / cm2]
0,0	0	0	0,000	1,000	8,644	0,000	0,000
4,8	5	0,005	0,002	0,998	8,659	0,554	0,472
9,1	10	0,01	0,004	0,996	8,674	1,049	0,893
19,9	20	0,02	0,007	0,993	8,705	2,286	1,947
31,4	30	0,03	0,011	0,989	8,736	3,594	3,061
39,0	40	0,04	0,014	0,986	8,767	4,448	3,789
44,8	50	0,05	0,018	0,982	8,798	5,092	4,337
49,3	60	0,06	0,021	0,979	8,830	5,583	4,755
52,5	70	0,07	0,025	0,975	8,862	5,924	5,046
55,1	80	0,08	0,028	0,972	8,894	6,195	5,276
56,8	90	0,09	0,032	0,968	8,926	6,363	5,420
57,6	100	0,1	0,035	0,965	8,959	6,430	5,476
58,3	110	0,11	0,039	0,961	8,991	6,484	5,522
58,6	120	0,12	0,042	0,958	9,024	6,494	5,531
59,1	130	0,13	0,046	0,954	9,058	6,525	5,557
59,1	140	0,14	0,049	0,951	9,091	6,501	5,537

RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra $\sigma_3 =$ 1 kg/cm²
Esfuerzo Desviador Máximo $\sigma =$ 5,557 kg/cm²
Valor máximo del esfuerzo vertical $\sigma_1 =$ 6,557 kg/cm²

OBSERVACIONES:

REVISADO: Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO: *Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU*

LOCALIZACIÓN: Ciudad Victoria

INSTITUCIÓN: U T P L

MUESTRA: Corona de talud

SOLICITADO:

FECHA: 02-feb-17

NORMA: ASTM D 2850

ENSAYO: UU

TIPO PROB.: Remoldeada

CALICATA No.: 1

PROFUND.: 1,50m

REALIZADO: A.F.C.L.

INFORME: Lab-UTPL

Hoja 3 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - CORONA DE TALUD

PROBETA No.: 3

Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kg/div

Presión de conf. [Kg/cm²]:

2

Carga	Deform.	ΔL Pulg.	Deform.	F. correc.	Area	sig1 - sig3	Tensión
[Kg]	[mm]	pulg]	Unit.	[1- ϵ]	Corregida	[Kg / cm ²]	Desviadora
			[ϵ]		[cm ²]		[Kg / cm ²]
0,0	0	0	0,000	1,000	8,722	0,000	0,000
13,2	5	0,005	0,002	0,998	8,738	1,511	1,287
21,9	10	0,01	0,004	0,996	8,753	2,502	2,131
33,8	20	0,02	0,007	0,993	8,784	3,848	3,277
40,1	30	0,03	0,011	0,989	8,815	4,549	3,874
45,6	40	0,04	0,014	0,986	8,846	5,155	4,390
49,3	50	0,05	0,018	0,982	8,878	5,553	4,730
52,6	60	0,06	0,021	0,979	8,910	5,904	5,028
55,2	70	0,07	0,025	0,975	8,942	6,173	5,258
57,4	80	0,08	0,028	0,972	8,974	6,396	5,448
58,9	90	0,09	0,032	0,968	9,007	6,540	5,570
60,0	100	0,1	0,035	0,965	9,039	6,638	5,653
61,3	110	0,11	0,039	0,961	9,072	6,757	5,755
62,9	120	0,12	0,042	0,958	9,106	6,908	5,883
63,3	130	0,13	0,046	0,954	9,139	6,926	5,899
64,2	140	0,14	0,049	0,951	9,173	6,999	5,961
65,1	150	0,15	0,053	0,947	9,207	7,071	6,022
65,9	160	0,16	0,056	0,944	9,241	7,131	6,074
66,8	170	0,17	0,060	0,940	9,275	7,202	6,134
67,1	180	0,18	0,063	0,937	9,310	7,207	6,138
67,3	190	0,19	0,067	0,933	9,345	7,202	6,134
67,9	200	0,2	0,070	0,930	9,380	7,238	6,165
68,1	210	0,21	0,074	0,926	9,416	7,232	6,160
68,1	220	0,22	0,077	0,923	9,452	7,205	6,136

RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra

$\sigma_3 =$ 2 kg/cm²

Esfuerzo Desviador Máximo

$\sigma =$ 6,165 kg/cm²

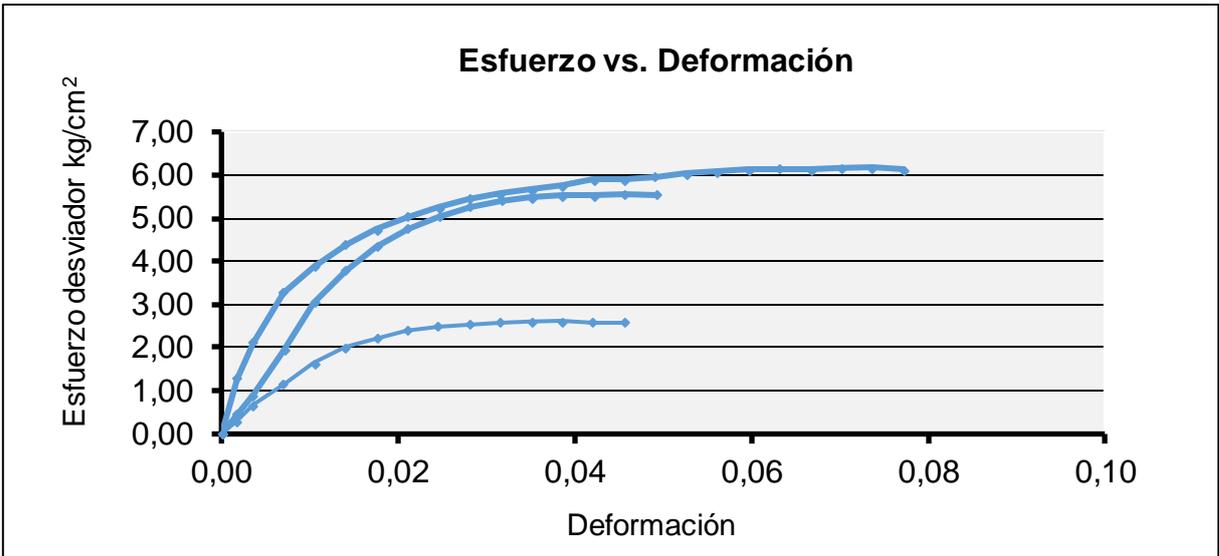
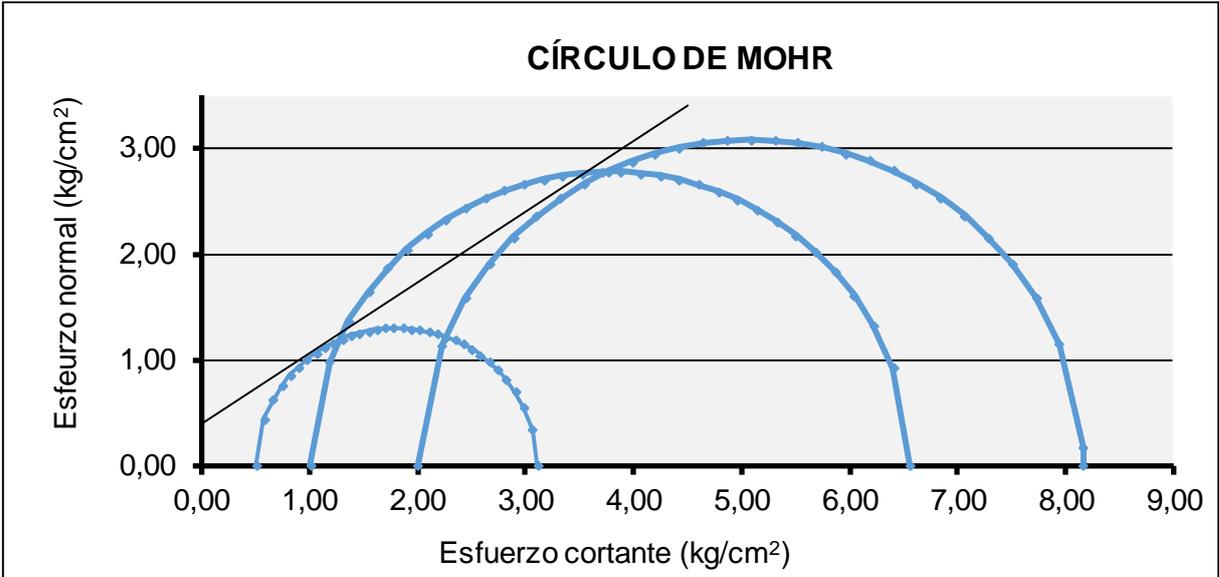
Valor máximo del esfuerzo vertical

$\sigma_1 =$ 8,165 kg/cm²

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN



Resultados
 Cohesión: 0,39 kg/cm²
 Ángulo de fricción: 33°

Media ladera 1

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

<p>PROYECTO: <i>Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU</i></p> <p>LOCALIZACIÓN: <i>Ciudad Victoria</i></p> <p>INSTITUCIÓN: <i>UTPL</i></p> <p>MUESTRA: <i>Media ladera 1</i></p> <p>SOLICITADO:</p> <p>FECHA: <i>02-feb-17</i></p>	<p>NORMA: <i>ASTM D 2850</i></p> <p>ENSAYO: <i>UU</i></p> <p>TIPO PROB.: <i>Remoldeada</i></p> <p>CALICATA No.: <i>2</i></p> <p>PROFUND.: <i>1,50m</i></p> <p>REALIZADO: <i>A.F.C.L.</i></p> <p>INFORME: <i>Lab-UTPL</i></p>
---	---

Hoja 1 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - MEDIA LADERA 1

<p>PROBETA No.: <i>1</i></p> <p>Presión de conf. [Kg/cm2]:</p>	<p><i>Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kig/div</i></p> <p>0,5</p>
--	---

<i>Carga</i>	<i>Deform.</i>	<i>ΔL Pulg.</i>	<i>Deform.</i>	<i>F. correc.</i>	<i>Area</i>	<i>sig1 - sig3</i>	<i>Tensión</i>	
[Kg]	[mm]	[plg]	Unit. [ε]	[1-ε]	Corregida [cm2]	[Kg / cm2]	Desviadora [Kg / cm2]	
0	0	0	0,000		1,000	8,748	0,000	0,000
2,9	5	0,005	0,002		0,998	8,764	0,331	0,282
4,8	10	0,01	0,004		0,996	8,780	0,547	0,466
7,1	20	0,02	0,007		0,993	8,811	0,806	0,686
8,9	30	0,03	0,011		0,989	8,843	1,006	0,857
10,7	40	0,04	0,014		0,986	8,875	1,206	1,027
12	50	0,05	0,018		0,982	8,907	1,347	1,147
13,4	60	0,06	0,021		0,979	8,940	1,499	1,277
14,2	70	0,07	0,025		0,975	8,972	1,583	1,348
14,9	80	0,08	0,029		0,971	9,005	1,655	1,409
15,5	90	0,09	0,032		0,968	9,039	1,715	1,461
16,1	100	0,1	0,036		0,964	9,072	1,775	1,512
16,3	110	0,11	0,039		0,961	9,106	1,790	1,525
16,5	120	0,12	0,043		0,957	9,140	1,805	1,538
16,8	130	0,13	0,046		0,954	9,174	1,831	1,560
16,7	140	0,14	0,050		0,950	9,208	1,814	1,545
16,7	150	0,15	0,053		0,947	9,243	1,807	1,539

RESULTADOS:

<p>Presión Lateral sobre la muestra</p> <p>Esfuerzo Desviador Máximo</p> <p>Valor máximo del esfuerzo vertical</p>	<p>σ₃ =</p> <p>σ =</p> <p>σ₁ =</p>	<p>0,5 kg/cm²</p> <p>1,560 kg/cm²</p> <p>2,060 kg/cm²</p>
--	--	--

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO:	Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU	NORMA:	ASTM D 2850
LOCALIZACIÓN:	Ciudad Victoria	ENSAYO:	UU
INSTITUCIÓN:	UTPL	TIPO PROB.:	Remoldeada
MUESTRA:	Media ladera 1	CALICATA No.:	1
SOLICITADO:		PROFUND.:	1,50m
FECHA:	02-feb-17	REALIZADO:	A.F.C.L.
		INFORME:	Lab-UTPL

Hoja 2 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - MEDIA LADERA 1

PROBETA No.:	2	Const. Anillo de carga LRC =	0,8517 kg/div
Presión de conf. [Kg/cm²]:			1

Carga	Deform.	ΔL Pulg.	Deform.	F. correc.	Area	sig1 - sig3	Tensión
[Kg]	[mm]	plg]	Unit. [ϵ]	[1- ϵ]	Corregida [cm ²]	[Kg / cm ²]	Desviadora [Kg / cm ²]
0,0	0	0	0,000	1,000	8,801	0,000	0,000
4,8	5	0,005	0,002	0,998	8,817	0,544	0,464
8,1	10	0,01	0,004	0,996	8,832	0,917	0,781
12,5	20	0,02	0,007	0,993	8,864	1,410	1,201
14,9	30	0,03	0,011	0,989	8,896	1,675	1,426
16,9	40	0,04	0,014	0,986	8,928	1,893	1,612
19,1	50	0,05	0,018	0,982	8,961	2,132	1,815
20,7	60	0,06	0,021	0,979	8,993	2,302	1,960
22,1	70	0,07	0,025	0,975	9,026	2,448	2,085
23,0	80	0,08	0,029	0,971	9,059	2,539	2,162
23,8	90	0,09	0,032	0,968	9,093	2,617	2,229
24,4	100	0,1	0,036	0,964	9,126	2,674	2,277
25,1	110	0,11	0,039	0,961	9,160	2,740	2,334
25,5	120	0,12	0,043	0,957	9,194	2,773	2,362
25,9	130	0,13	0,046	0,954	9,229	2,806	2,390
26,0	140	0,14	0,050	0,950	9,263	2,807	2,390
25,9	150	0,15	0,053	0,947	9,298	2,785	2,372
25,8	160	0,16	0,057	0,943	9,333	2,764	2,354

RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra	$\sigma_3 =$	1 kg/cm ²
Esfuerzo Desviador Máximo	$\sigma =$	2,390 kg/cm ²
Valor máximo del esfuerzo vertical	$\sigma_1 =$	3,390 kg/cm ²

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO: <i>Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU</i>	NORMA: ASTM D 2850
LOCALIZACIÓN: Ciudad Victoria	ENSAYO: UU
INSTITUCIÓN: U T P L	TIPO PROB.: Remoldeada
MUESTRA: Media ladera 1	CALICATA No.: 2
SOLICITADO:	PROFUND.: 1,50m
FECHA: 02-feb-17	REALIZADO: A.F.C.L.
	INFORME: Lab-UTPL

Hoja 3 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - MEDIA LADERA 1

PROBETA No.: 3	Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kig/div
Presión de conf. [Kg/cm2]:	2

Carga [Kg]	Deform. [mm]	ΔL Pulg. plg]	Deform. Unit. [ϵ]	F. correc. [1- ϵ]	Área Corregida [cm ²]	sig1 - sig3 [Kg / cm ²]	Tensión Desviadora [Kg / cm ²]
0,00	0	0	0,000	1,000	8,762	0,000	0,000
7,70	5	0,005	0,002	0,998	8,777	0,877	0,747
13,20	10	0,01	0,004	0,996	8,793	1,501	1,279
20,10	20	0,02	0,007	0,993	8,824	2,278	1,940
22,90	30	0,03	0,011	0,989	8,856	2,586	2,202
26,00	40	0,04	0,014	0,986	8,888	2,925	2,491
28,10	50	0,05	0,018	0,982	8,920	3,150	2,683
30,00	60	0,06	0,021	0,979	8,953	3,351	2,854
31,20	70	0,07	0,025	0,975	8,985	3,472	2,957
32,40	80	0,08	0,028	0,972	9,018	3,593	3,060
33,80	90	0,09	0,032	0,968	9,051	3,734	3,181
34,80	100	0,1	0,036	0,964	9,085	3,831	3,263
35,50	110	0,11	0,039	0,961	9,118	3,893	3,316
36,30	120	0,12	0,043	0,957	9,152	3,966	3,378
37,10	130	0,13	0,046	0,954	9,186	4,039	3,440
37,90	140	0,14	0,050	0,950	9,220	4,110	3,501
38,30	150	0,15	0,053	0,947	9,255	4,138	3,525
38,60	160	0,16	0,057	0,943	9,290	4,155	3,539
39,20	170	0,17	0,060	0,940	9,325	4,204	3,580
39,70	180	0,18	0,064	0,936	9,361	4,241	3,612
40,00	190	0,19	0,068	0,932	9,396	4,257	3,626
40,20	200	0,2	0,071	0,929	9,432	4,262	3,630
40,70	210	0,21	0,075	0,925	9,468	4,298	3,661
41,00	220	0,22	0,078	0,922	9,505	4,314	3,674
41,20	230	0,23	0,082	0,918	9,542	4,318	3,678
41,50	240	0,24	0,085	0,915	9,579	4,332	3,690
41,80	250	0,25	0,089	0,911	9,616	4,347	3,702
42,00	260	0,26	0,092	0,908	9,654	4,351	3,705
42,20	270	0,27	0,096	0,904	9,692	4,354	3,708
42,50	280	0,28	0,100	0,900	9,730	4,368	3,720
42,80	290	0,29	0,103	0,897	9,769	4,381	3,732
43,00	300	0,3	0,107	0,893	9,808	4,384	3,734
42,70	310	0,31	0,110	0,890	9,847	4,336	3,693

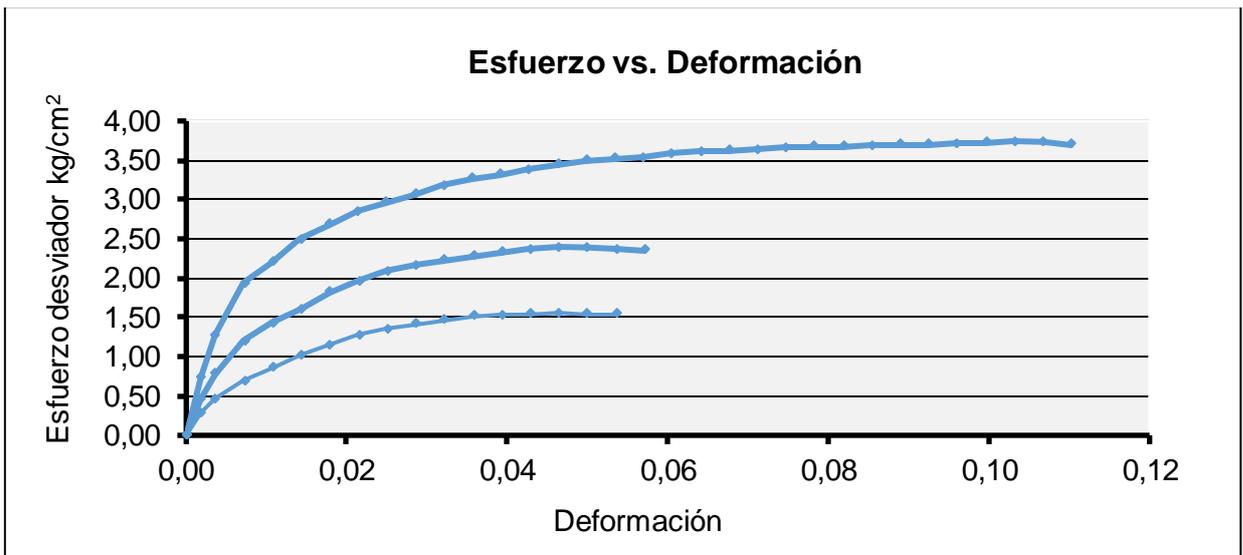
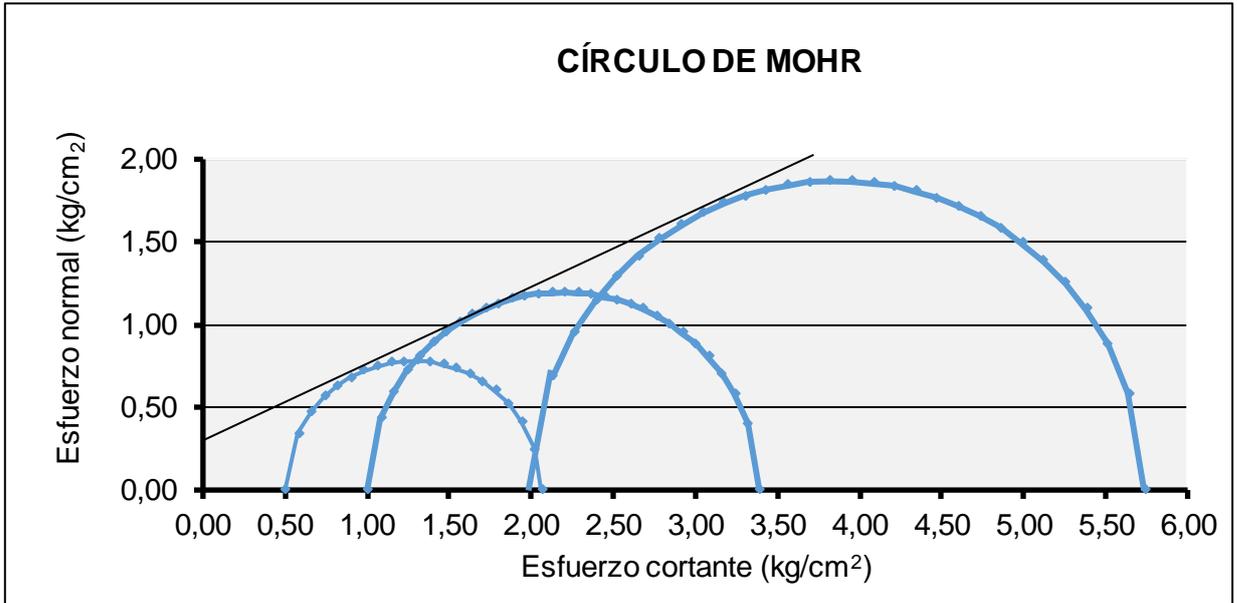
RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra	$\sigma_3 =$	2 kg/cm ²
Esfuerzo Desviador Máximo	$\sigma =$	3,734 kg/cm ²
Valor máximo del esfuerzo vertical	$\sigma_1 =$	5,734 kg/cm ²

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN



Resultados
 Cohesión: 0,35 kg/cm²
 Ángulo de fricción: 24°

Media ladera 2

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO: Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU	NORMA: ASTM D 2850
LOCALIZACIÓN: Ciudad Victoria	ENSAYO: UU
INSTITUCIÓN: U T P L	TIPO PROB.: Remoldeada
MUESTRA: Media ladera 2	CALICATA No.: 3
SOLICITADO:	PROFUND.: 1,50m
FECHA: 02-feb-17	REALIZADO: A.F.C.L.
	INFORME: Lab-UTPL

Hoja 1 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - MEDIA LADERA 2

PROBETA No.: 1	Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kg/div
Presión de conf. [Kg/cm²]:	0,5

Carga	Deform.	ΔL Pulg.	Deform.	F. correc.	Área	sig1 - sig3	Tensión
[Kg]	[mm]	plg]	Unit. [ε]	[1-ε]	Corregida [cm ²]	[Kg / cm ²]	Desviadora [Kg / cm ²]
0	0	0	0,000	1,000	8,722	0,000	0,000
4,7	5	0,005	0,002	0,998	8,738	0,538	0,458
10,1	10	0,01	0,004	0,996	8,753	1,154	0,983
18,4	20	0,02	0,007	0,993	8,784	2,095	1,784
23,9	30	0,03	0,011	0,989	8,816	2,711	2,309
29,1	40	0,04	0,014	0,986	8,847	3,289	2,801
32,7	50	0,05	0,018	0,982	8,879	3,683	3,137
34,9	60	0,06	0,021	0,979	8,911	3,916	3,336
37	70	0,07	0,025	0,975	8,944	4,137	3,523
38,9	80	0,08	0,028	0,972	8,976	4,334	3,691
40	90	0,09	0,032	0,968	9,009	4,440	3,782
40,9	100	0,1	0,035	0,965	9,042	4,523	3,852
41,5	110	0,11	0,039	0,961	9,075	4,573	3,895
41,8	120	0,12	0,042	0,958	9,109	4,589	3,908
41,8	130	0,13	0,046	0,954	9,143	4,572	3,894
41	140	0,14	0,050	0,950	9,177	4,468	3,805

RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra	$\sigma_3 =$	0,5 kg/cm ²
Esfuerzo Desviador Máximo	$\sigma =$	3,908 kg/cm ²
Valor máximo del esfuerzo vertical	$\sigma_1 =$	4,408 kg/cm ²

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO: *Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU*

LOCALIZACIÓN: Ciudad Victoria

INSTITUCIÓN: U T P L

MUESTRA: Media ladera 2

SOLICITADO:

FECHA: 02-feb-17

NORMA: ASTM D 2850

ENSAYO: UU

TIPO PROB.: Remoldeada

CALICATA No.: 3

PROFUND.: 1,50m

REALIZADO: A.F.C.L.

INFORME: Lab-UTPL

Hoja 2 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - MEDIA LADERA 2

PROBETA No.: 2 **Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kg/div**
Presión de conf. [Kg/cm²]: 1

Carga	Deform.	ΔL Pulg.	Deform.	F. correc.	Área	sig1 - sig3	Tensión
[Kg]	[mm]	pulg]	Unit.	[1- ϵ]	Corregida	[Kg / cm ²]	Desviadora
			[ϵ]		[cm ²]		[Kg / cm ²]
0	0	0	0,000	1,000	8,762	0,000	0,000
2,8	5	0,005	0,002	0,998	8,777	0,319	0,272
7,2	10	0,01	0,004	0,996	8,793	0,819	0,697
18,8	20	0,02	0,007	0,993	8,824	2,130	1,815
27,8	30	0,03	0,011	0,989	8,856	3,139	2,674
34	40	0,04	0,014	0,986	8,888	3,825	3,258
38,9	50	0,05	0,018	0,982	8,920	4,361	3,714
42,1	60	0,06	0,021	0,979	8,953	4,703	4,005
44,9	70	0,07	0,025	0,975	8,985	4,997	4,256
47,1	80	0,08	0,028	0,972	9,018	5,223	4,448
49,1	90	0,09	0,032	0,968	9,051	5,425	4,620
50,5	100	0,1	0,036	0,964	9,085	5,559	4,734
51,6	110	0,11	0,039	0,961	9,118	5,659	4,820
52,5	120	0,12	0,043	0,957	9,152	5,736	4,886
53,1	130	0,13	0,046	0,954	9,186	5,780	4,923
53,4	140	0,14	0,050	0,950	9,221	5,791	4,932
53,8	150	0,15	0,053	0,947	9,255	5,813	4,951
54,1	160	0,16	0,057	0,943	9,290	5,823	4,960
54,5	170	0,17	0,060	0,940	9,326	5,844	4,977
54,5	180	0,18	0,064	0,936	9,361	5,822	4,959

RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra $\sigma_3 =$ 1 kg/cm²

Esfuerzo Desviador Máximo $\sigma =$ 4,977 kg/cm²

Valor máximo del esfuerzo vertical $\sigma_1 =$ 5,977 kg/cm²

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO: <i>Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU</i>	NORMA: ASTM D 2850
LOCALIZACIÓN: Ciudad Victoria	ENSAYO: UU
INSTITUCIÓN: U T P L	TIPO PROB.: Remoldeada
MUESTRA: Media ladera 2	CALICATA No.: 3
SOLICITADO:	PROFUND.: 1,50m
FECHA: 02-feb-17	REALIZADO: A.F.C.L.
	INFORME: Lab-UTPL

Hoja 3 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - MEDIA LADERA 2

PROBETA No.: 3	Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kg/div
Presión de conf. [Kg/cm2]:	2

Carga	Deform.	ΔL Pulg.	Deform.	F. correc.	Área	sig1 - sig3	Tensión
[Kg]	[mm]	plg]	Unit. [ε]	[1-ε]	Corregida [cm2]	[Kg / cm2]	Desviadora [Kg / cm2]
0	0	0	0,000	1,000	8,801	0,000	0,000
0	5	0,005	0,002	0,998	8,817	0,000	0,000
2	10	0,01	0,004	0,996	8,832	0,226	0,193
9,8	20	0,02	0,007	0,993	8,863	1,106	0,942
18,3	30	0,03	0,011	0,989	8,895	2,057	1,752
25	40	0,04	0,014	0,986	8,927	2,801	2,385
30,1	50	0,05	0,018	0,982	8,959	3,360	2,862
34,8	60	0,06	0,021	0,979	8,991	3,871	3,297
37,9	70	0,07	0,025	0,975	9,024	4,200	3,577
39,3	80	0,08	0,028	0,972	9,056	4,340	3,696
41	90	0,09	0,032	0,968	9,089	4,511	3,842
42,5	100	0,1	0,035	0,965	9,122	4,659	3,968
44,2	110	0,11	0,039	0,961	9,156	4,828	4,112
45,9	120	0,12	0,042	0,958	9,189	4,995	4,254
47,1	130	0,13	0,046	0,954	9,223	5,107	4,349
48,2	140	0,14	0,049	0,951	9,258	5,207	4,434
49,2	150	0,15	0,053	0,947	9,292	5,295	4,510
50	160	0,16	0,056	0,944	9,327	5,361	4,566
50,6	170	0,17	0,060	0,940	9,362	5,405	4,603
51,1	180	0,18	0,063	0,937	9,397	5,438	4,632
51,8	190	0,19	0,067	0,933	9,432	5,492	4,677
52,1	200	0,2	0,070	0,930	9,468	5,503	4,687
52,7	210	0,21	0,074	0,926	9,504	5,545	4,723
53	220	0,22	0,078	0,922	9,540	5,555	4,731
53,5	230	0,23	0,081	0,919	9,577	5,586	4,758
54	240	0,24	0,085	0,915	9,614	5,617	4,784
54,5	250	0,25	0,088	0,912	9,651	5,647	4,810
55	260	0,26	0,092	0,908	9,688	5,677	4,835
55,2	270	0,27	0,095	0,905	9,726	5,675	4,834
55,8	280	0,28	0,099	0,901	9,764	5,715	4,867
56,5	290	0,29	0,102	0,898	9,802	5,764	4,909
56,7	300	0,3	0,106	0,894	9,841	5,762	4,907
57	310	0,31	0,109	0,891	9,880	5,769	4,914
57,1	320	0,32	0,113	0,887	9,919	5,757	4,903
57,7	330	0,33	0,116	0,884	9,959	5,794	4,935
57,7	340	0,34	0,120	0,880	9,999	5,771	4,915

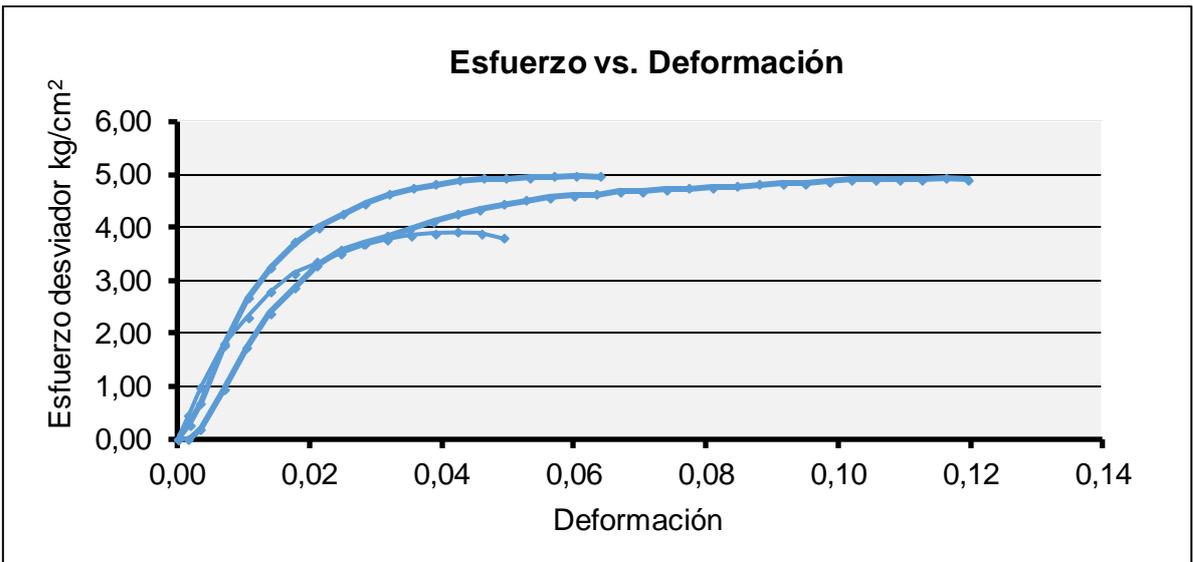
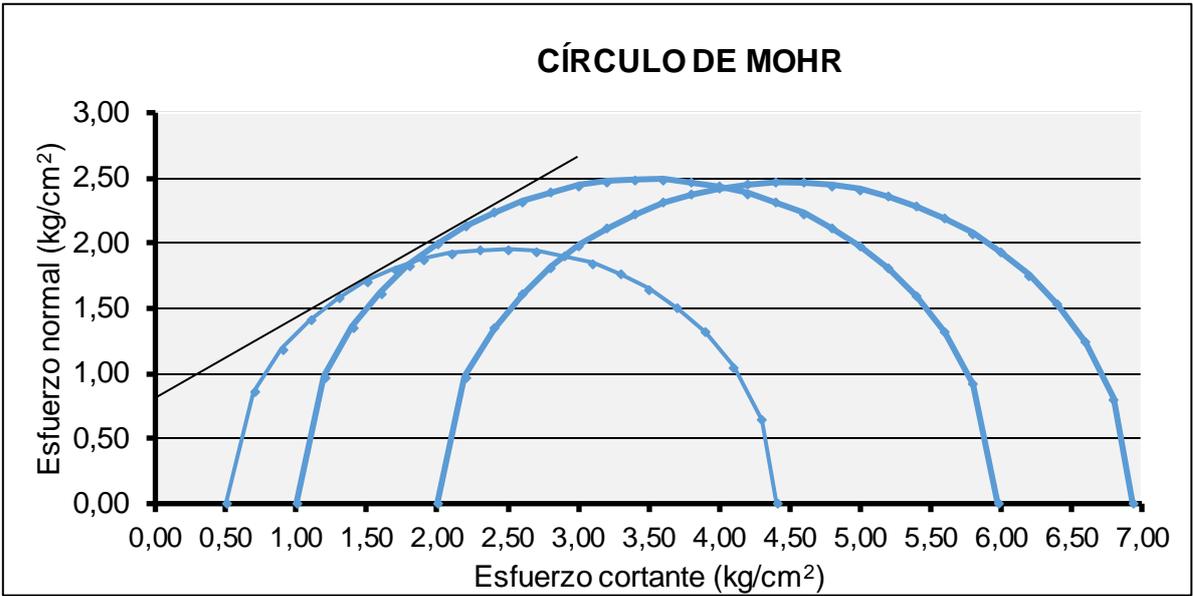
RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra	σ ₃ =	2 kg/cm ²
Esfuerzo Desviador Máximo	σ =	4,935 kg/cm ²
Valor máximo del esfuerzo vertical	σ ₁ =	6,935 kg/cm ²

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN



Resultados
 Cohesión: 0,82 kg/cm²
 Ángulo de fricción: 31°

Pie de talud

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO:	Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU	NORMA:	ASTM D 2850
LOCALIZACIÓN:	Ciudad Victoria	ENSAYO:	UU
INSTITUCIÓN:	UTPL	TIPO PROB.:	Remoldeada
MUESTRA:	Pie de talud	CALICATA No.:	4
SOLICITADO:		PROFUND.:	1,50m
FECHA:	02-feb-17	REALIZADO:	A.F.C.L.
		INFORME:	Lab-UTPL

Hoja 1 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - PIE DE TALUD

PROBETA No.:	1	Const. Anillo de carga LRC =	0,8517 kg/div
Presión de conf. [Kg/cm2]:			0,5

Carga	Deform.	ΔL Pulg.	Deform.	F. correc.	Área	sig1 - sig3	Tensión
[Kg]	[mm]	plg]	Unit.	[1- ϵ]	Corregida	[Kg / cm2]	Desviadora
			[ϵ]		[cm2]		[Kg / cm2]
0	0	0	0,000	1,000	8,424	0,000	0,000
1,2	5	0,005	0,002	0,998	8,439	0,142	0,121
4,8	20	0,02	0,007	0,993	8,485	0,566	0,482
6,2	30	0,03	0,011	0,989	8,517	0,728	0,620
7,8	40	0,04	0,015	0,985	8,548	0,912	0,777
8,7	50	0,05	0,018	0,982	8,580	1,014	0,864
9,4	60	0,06	0,022	0,978	8,611	1,092	0,930
10	70	0,07	0,025	0,975	8,644	1,157	0,985
10,5	80	0,08	0,029	0,971	8,676	1,210	1,031
10,9	90	0,09	0,033	0,967	8,708	1,252	1,066
11,2	100	0,1	0,036	0,964	8,741	1,281	1,091
11,6	110	0,11	0,040	0,960	8,774	1,322	1,126
11,9	120	0,12	0,044	0,956	8,808	1,351	1,151
12	130	0,13	0,047	0,953	8,841	1,357	1,156
12,2	140	0,14	0,051	0,949	8,875	1,375	1,171
12,6	150	0,15	0,054	0,946	8,909	1,414	1,205
12,9	160	0,16	0,058	0,942	8,943	1,442	1,229
13	170	0,17	0,062	0,938	8,978	1,448	1,233
13	180	0,18	0,065	0,935	9,013	1,442	1,228

RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra	$\sigma_3 =$	0,5 kg/cm2
Esfuerzo Desviador Máximo	$\sigma =$	1,233 kg/cm2
Valor máximo del esfuerzo vertical	$\sigma_1 =$	1,733 kg/cm2

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO:	Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU	NORMA:	ASTM D 2850
LOCALIZACIÓN:	Ciudad Victoria	ENSAYO:	UU
INSTITUCIÓN:	UTPL	TIPO PROB.:	Remoldeada
MUESTRA:	Pie de talud	CALICATA No.:	4
SOLICITADO:		PROFUND.:	1,50m
FECHA:	02-feb-17	REALIZADO:	A.F.C.L.
		INFORME:	Lab-UTPL

Hoja 2 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - PIE DE TALUD

PROBETA No.:	1	Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kg/div					
Presión de conf. [Kg/cm2]:		1					
Carga	Deform.	ΔL Pulg.	Deform.	F. correc.	Área	sig1 - sig3	Tensión
[Kg]	[mm]	plg]	Unit. [ε]	[1-ε]	Corregida [cm2]	[Kg / cm2]	Desviadora [Kg / cm2]
0	0	0	0,000	1,000	8,775	0,000	0,000
3,1	5	0,005	0,002	0,998	8,790	0,353	0,300
5,8	10	0,01	0,004	0,996	8,806	0,659	0,561
9,9	20	0,02	0,007	0,993	8,838	1,120	0,954
12,7	30	0,03	0,011	0,989	8,870	1,432	1,219
14,9	40	0,04	0,014	0,986	8,902	1,674	1,426
16,7	50	0,05	0,018	0,982	8,935	1,869	1,592
18,1	60	0,06	0,021	0,979	8,967	2,018	1,719
19,5	70	0,07	0,025	0,975	9,000	2,167	1,845
20,5	80	0,08	0,029	0,971	9,033	2,269	1,933
21,2	90	0,09	0,032	0,968	9,067	2,338	1,991
21,7	100	0,1	0,036	0,964	9,100	2,385	2,031
22,3	110	0,11	0,039	0,961	9,134	2,441	2,079
22,9	120	0,12	0,043	0,957	9,168	2,498	2,127
23,2	130	0,13	0,047	0,953	9,203	2,521	2,147
23,4	140	0,14	0,050	0,950	9,237	2,533	2,157
23,8	150	0,15	0,054	0,946	9,272	2,567	2,186
24,1	160	0,16	0,057	0,943	9,308	2,589	2,205
24,8	170	0,17	0,061	0,939	9,343	2,654	2,261
25,1	180	0,18	0,064	0,936	9,379	2,676	2,279
25,5	190	0,19	0,068	0,932	9,415	2,708	2,307
25,8	200	0,2	0,072	0,928	9,451	2,730	2,325
26,1	210	0,21	0,075	0,925	9,488	2,751	2,343
26,3	220	0,22	0,079	0,921	9,525	2,761	2,352
26,8	230	0,23	0,082	0,918	9,562	2,803	2,387
26,9	240	0,24	0,086	0,914	9,599	2,802	2,387
27,2	250	0,25	0,089	0,911	9,637	2,823	2,404
27,5	260	0,26	0,093	0,907	9,675	2,842	2,421
27,7	270	0,27	0,097	0,903	9,713	2,852	2,429
27,8	280	0,28	0,100	0,900	9,752	2,851	2,428
27,9	290	0,29	0,104	0,896	9,791	2,850	2,427
28	300	0,3	0,107	0,893	9,830	2,848	2,426
28	310	0,31	0,111	0,889	9,870	2,837	2,416

RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra	$\sigma_3 =$	1 kg/cm2
Esfuerzo Desviador Máximo	$\sigma =$	2,429 kg/cm2
Valor máximo del esfuerzo vertical	$\sigma_1 =$	3,429 kg/cm2

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL UU

PROYECTO:	Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU	NORMA:	ASTM D 2850
LOCALIZACIÓN:	Ciudad Victoria	ENSAYO:	UU
INSTITUCIÓN:	U T P L	TIPO PROB.:	Remoldeada
MUESTRA:	Pie de talud	CALICATA No.:	4
SOLICITADO:		PROFUND.:	1,50m
FECHA:	02-feb-17	REALIZADO:	A.F.C.L.
		INFORME:	Lab-UTPL

Hoja 3 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO UU - PIE DE TALUD

PROBETA No.:	2	Const. Anillo de carga LRC = 0,8517 kg/div						
Presión de conf. [Kg/cm2]:		2						
<i>Carga</i>	<i>Deform.</i>	<i>ΔL Pulg.</i>	<i>Deform.</i>	<i>F. correc.</i>	<i>Área</i>	<i>sig1 - sig3</i>	<i>Tensión</i>	
[Kg]	[mm]	plg]	Unit.	[1-ε]	Corregida	[Kg / cm2]	Desviadora	
			[ε]		[cm2]		[Kg / cm2]	
0	0	0	0,000	1,000	8,488	0,000	0,000	
3,3	5	0,005	0,002	0,998	8,504	0,388	0,331	
6,1	10	0,01	0,004	0,996	8,519	0,716	0,610	
11,4	20	0,02	0,007	0,993	8,550	1,333	1,136	
14,2	30	0,03	0,011	0,989	8,582	1,655	1,409	
17,2	40	0,04	0,015	0,985	8,613	1,997	1,701	
19,4	50	0,05	0,018	0,982	8,645	2,244	1,911	
21,1	60	0,06	0,022	0,978	8,677	2,432	2,071	
22	70	0,07	0,025	0,975	8,709	2,526	2,151	
23,1	80	0,08	0,029	0,971	8,742	2,642	2,251	
23,9	90	0,09	0,033	0,967	8,775	2,724	2,320	
24,6	100	0,1	0,036	0,964	8,808	2,793	2,379	
25,3	110	0,11	0,040	0,960	8,841	2,862	2,437	
26,1	120	0,12	0,044	0,956	8,874	2,941	2,505	
26,8	130	0,13	0,047	0,953	8,908	3,008	2,562	
27,3	140	0,14	0,051	0,949	8,942	3,053	2,600	
27,9	150	0,15	0,054	0,946	8,977	3,108	2,647	
28,3	160	0,16	0,058	0,942	9,011	3,141	2,675	
28,8	170	0,17	0,062	0,938	9,046	3,184	2,712	
29,1	180	0,18	0,065	0,935	9,081	3,204	2,729	
29,4	190	0,19	0,069	0,931	9,116	3,225	2,747	
29,8	200	0,2	0,073	0,927	9,152	3,256	2,773	
30,1	210	0,21	0,076	0,924	9,188	3,276	2,790	
30,2	220	0,22	0,080	0,920	9,224	3,274	2,788	
30,5	230	0,23	0,083	0,917	9,261	3,294	2,805	
30,9	240	0,24	0,087	0,913	9,297	3,324	2,831	
30,9	250	0,25	0,091	0,909	9,334	3,310	2,819	
31,1	260	0,26	0,094	0,906	9,372	3,318	2,826	
31,3	270	0,27	0,098	0,902	9,410	3,326	2,833	
31,5	280	0,28	0,102	0,898	9,447	3,334	2,840	
31,8	290	0,29	0,105	0,895	9,486	3,352	2,855	
31,9	300	0,3	0,109	0,891	9,524	3,349	2,853	
32	310	0,31	0,112	0,888	9,563	3,346	2,850	
32,2	320	0,32	0,116	0,884	9,603	3,353	2,856	
32,3	330	0,33	0,120	0,880	9,642	3,350	2,853	
32,5	340	0,34	0,123	0,877	9,682	3,357	2,859	
32,4	350	0,35	0,127	0,873	9,722	3,333	2,838	

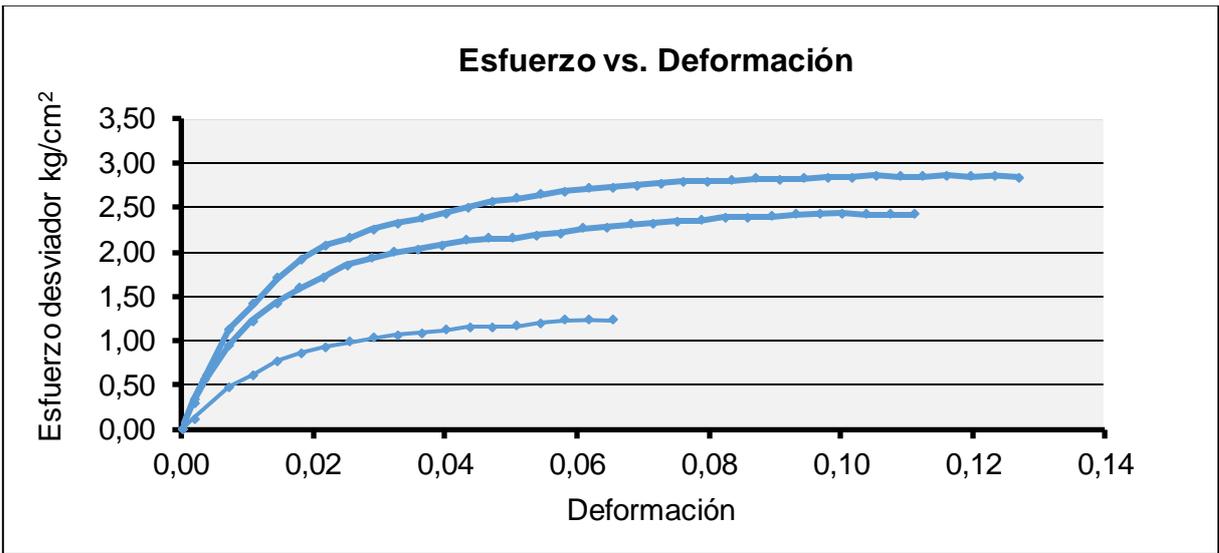
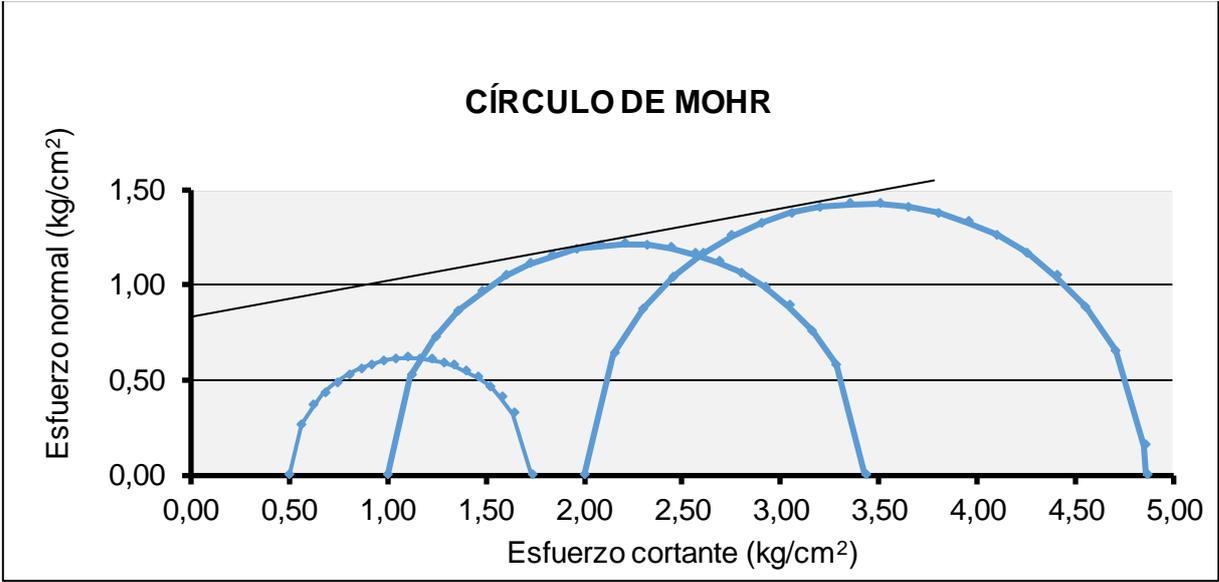
RESULTADOS:

Presión Lateral sobre la muestra	$\sigma_3 =$	2 kg/cm2
Esfuerzo Desviador Máximo	$\sigma =$	2,859 kg/cm2
Valor máximo del esfuerzo vertical	$\sigma_1 =$	4,859 kg/cm2

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE TITULACIÓN



Resultados
 Cohesión: 0,84 kg/cm^2
 Ángulo de fricción: 10°

Anexo C. Ensayo Triaxial consolidado – no drenado (CU).

Pie de talud

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU

<i>Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU</i>		NORMA:	ASTM D 2850
PROYECTO:		ENSAYO:	CU
LOCALIZACIÓN: Ciudad		TIPO	
Victoria		PROB.:	Remoldeada
INSTITUCIÓN:	UTPL	CALICATA	
		No:	4
MUESTRA:	Pie de talud	PROFUND.:	1,50m
SOLICITADO:		REALIZADO:	A.F.C.L.
FECHA:	02-jun-17	INFORME:	Lab-UTPL

Hoja 1 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO CU - PIE DE TALUD

PROBETA		---	---
No.:	1	---	---->
Presión de conf.			
[Kg/cm ²]:			0,5

Carga (Kg)	Deform (mm)	Presión (kg/cm ²)	Presión de poros (kg/cm ²)	Deformación (%)	Area correg (cm ²)	$\sigma_1 - \sigma_3$	Delta m	Pres Efect (kg/cm ²)
0,0000	0,0000	3,0133	0,9198	0,0000	10,4100	0,0000	0,0000	2,0936
1,7144	0,0539	3,0130	0,9190	0,0007	10,4101	0,1647	-0,0008	2,0940
3,4279	0,1117	3,0126	0,9202	0,0015	10,4102	0,3293	0,0004	2,0924
5,1423	0,1781	3,0121	0,9141	0,0024	10,4103	0,4940	-0,0056	2,0980
6,5135	0,2540	3,0130	0,9198	0,0035	10,4104	0,6257	0,0000	2,0932
8,2279	0,3564	3,0121	0,9061	0,0049	10,4105	0,7903	-0,0136	2,1060
9,4279	0,4434	3,0109	0,9073	0,0061	10,4106	0,9056	-0,0124	2,1036
10,2846	0,5586	3,0114	0,8977	0,0077	10,4108	0,9879	-0,0220	2,1137
11,8270	0,6823	3,0109	0,9094	0,0094	10,4110	1,1360	-0,0104	2,1016
12,5125	0,7834	3,0109	0,9125	0,0108	10,4111	1,2018	-0,0072	2,0984
13,3702	0,8905	3,0109	0,9106	0,0122	10,4113	1,2842	-0,0092	2,1004
14,2270	0,9976	3,0102	0,9174	0,0137	10,4114	1,3665	-0,0024	2,0928
14,5702	1,1344	3,0102	0,9310	0,0156	10,4116	1,3994	0,0112	2,0792
15,2558	1,2714	3,0109	0,9759	0,0175	10,4118	1,4652	0,0561	2,0351
15,7693	1,3843	3,0093	0,9430	0,0190	10,4120	1,5145	0,0232	2,0663
16,4549	1,5227	3,0105	0,9483	0,0209	10,4122	1,5803	0,0285	2,0623

16,7981	1,6366	3,0093	0,9402	0,0225	10,4123	1,6133	0,0204	2,0691
17,4837	1,7483	3,0086	0,9402	0,0240	10,4125	1,6791	0,0204	2,0684
17,4837	1,8887	3,0081	0,9434	0,0259	10,4127	1,6791	0,0237	2,0647
17,8270	2,0016	3,0086	0,9386	0,0275	10,4129	1,7120	0,0188	2,0700
18,1693	2,1476	3,0081	0,9430	0,0295	10,4131	1,7449	0,0232	2,0651
18,8549	2,2647	3,0081	0,9406	0,0311	10,4132	1,8107	0,0208	2,0675
19,0260	2,4097	3,0081	0,9446	0,0331	10,4134	1,8271	0,0249	2,0635
19,7116	2,5557	3,0086	0,9899	0,0351	10,4137	1,8929	0,0701	2,0187
19,8837	2,6724	3,0081	0,8541	0,0367	10,4138	1,9094	-0,0657	2,1541
20,2260	2,7885	3,0074	1,0232	0,0383	10,4140	1,9422	0,1034	1,9842
20,5693	2,9376	3,0081	1,0196	0,0404	10,4142	1,9751	0,0998	1,9886
21,0837	3,0599	3,0074	1,0244	0,0420	10,4144	2,0245	0,1046	1,9830
21,2549	3,2073	3,0069	1,0212	0,0441	10,4146	2,0409	0,1014	1,9857
21,2549	3,3580	3,0062	1,0116	0,0461	10,4148	2,0408	0,0918	1,9946
21,9405	3,5082	3,0049	0,9450	0,0482	10,4150	2,1066	0,0253	2,0599
22,2837	3,6595	3,0074	0,9378	0,0503	10,4152	2,1395	0,0180	2,0696
22,2837	3,7807	3,0058	0,9386	0,0519	10,4154	2,1395	0,0188	2,0672
22,9693	3,9317	3,0058	0,9306	0,0540	10,4156	2,2053	0,0108	2,0752
23,1405	4,0515	3,0053	0,9354	0,0557	10,4158	2,2217	0,0157	2,0699
23,3116	4,2022	3,0049	0,9382	0,0577	10,4160	2,2381	0,0185	2,0667
23,4837	4,3538	3,0058	0,9378	0,0598	10,4162	2,2545	0,0180	2,0680
23,8260	4,4758	3,0037	0,9446	0,0615	10,4164	2,2874	0,0249	2,0591
23,8260	4,6284	3,0029	0,9455	0,0636	10,4166	2,2873	0,0257	2,0575
24,1693	4,7792	3,0049	0,9446	0,0656	10,4168	2,3202	0,0249	2,0603
24,6837	4,8995	3,0037	0,9450	0,0673	10,4170	2,3696	0,0253	2,0587
25,0260	5,0502	3,0034	0,9434	0,0694	10,4172	2,4024	0,0237	2,0599
25,1972	5,1743	3,0029	0,9322	0,0711	10,4174	2,4188	0,0124	2,0708
25,5405	5,3277	3,0037	0,8833	0,0732	10,4176	2,4517	-0,0364	2,1204
25,7116	5,4506	3,0025	0,8156	0,0749	10,4178	2,4680	-0,1042	2,1869
26,2260	5,6035	3,0025	0,8015	0,0770	10,4180	2,5174	-0,1182	2,2010
26,3972	5,7258	3,0025	0,8008	0,0787	10,4182	2,5338	-0,1190	2,2018
26,7405	5,8787	3,0025	0,8015	0,0808	10,4184	2,5667	-0,1182	2,2010
26,9116	5,9999	3,0021	0,8027	0,0824	10,4186	2,5830	-0,1170	2,1994
27,4261	6,1512	3,0018	0,7975	0,0845	10,4188	2,6324	-0,1222	2,2042
27,5972	6,2735	3,0009	0,7927	0,0862	10,4190	2,6487	-0,1271	2,2082
27,7684	6,3975	3,0006	0,7907	0,0879	10,4192	2,6651	-0,1290	2,2098
27,9405	6,5506	3,0009	0,7935	0,0900	10,4194	2,6816	-0,1262	2,2074
28,2828	6,6730	2,9997	0,7995	0,0917	10,4196	2,7144	-0,1203	2,2002
28,4539	6,8259	2,9997	0,7940	0,0938	10,4198	2,7308	-0,1258	2,2058
28,6261	6,9485	3,0001	0,7935	0,0954	10,4199	2,7472	-0,1262	2,2066
28,9684	7,0995	2,9993	0,7963	0,0975	10,4202	2,7800	-0,1234	2,2029
29,3116	7,2519	2,9993	0,8632	0,0996	10,4204	2,8129	-0,0565	2,1360
29,3116	7,4016	2,9981	0,8039	0,1017	10,4206	2,8129	-0,1158	2,1942

29,6539	7,5246	2,9981	0,8015	0,1034	10,4208	2,8457	-0,1182	2,1966
29,8251	7,6764	2,9985	0,7987	0,1054	10,4210	2,8620	-0,1210	2,1998
29,9972	7,7979	2,9978	0,7940	0,1071	10,4212	2,8785	-0,1258	2,2038
30,1684	7,9481	2,9981	0,7907	0,1092	10,4214	2,8949	-0,1290	2,2074
30,3395	8,0699	2,9978	0,7847	0,1108	10,4216	2,9112	-0,1351	2,2131
30,5116	8,2216	2,9978	0,7847	0,1129	10,4218	2,9277	-0,1351	2,2131
31,0251	8,3426	2,9973	0,7863	0,1146	10,4219	2,9769	-0,1335	2,2110
31,0251	8,4927	2,9969	0,7819	0,1167	10,4222	2,9768	-0,1379	2,2150
31,0251	8,6129	2,9978	0,7807	0,1183	10,4223	2,9768	-0,1391	2,2171
31,3684	8,7342	2,9961	0,7851	0,1200	10,4225	3,0097	-0,1346	2,2110
31,5395	8,8851	2,9969	0,8649	0,1220	10,4227	3,0260	-0,0549	2,1320
31,8828	9,0073	2,9969	0,8472	0,1237	10,4229	3,0589	-0,0725	2,1497
32,2251	9,1582	2,9957	0,8380	0,1258	10,4231	3,0917	-0,0817	2,1577
32,3963	9,2817	2,9953	0,7575	0,1275	10,4233	3,1081	-0,1623	2,2378
32,7395	9,4329	2,9961	0,7607	0,1296	10,4235	3,1409	-0,1591	2,2354
32,9107	9,5526	2,9953	0,8264	0,1312	10,4237	3,1573	-0,0934	2,1689
33,0828	9,6736	2,9945	0,8216	0,1329	10,4239	3,1738	-0,0982	2,1730
33,0828	9,8250	2,9949	0,8175	0,1350	10,4241	3,1737	-0,1022	2,1774
33,4251	9,9480	2,9945	0,8212	0,1366	10,4242	3,2065	-0,0986	2,1733
33,5963	10,070	2,9949	0,8232	0,1383	10,4244	3,2228	-0,0966	2,1718
33,5963	10,224	2,9941	0,8232	0,1405	10,4246	3,2228	-0,0966	2,1709
33,7684	10,377	2,9949	0,8252	0,1426	10,4249	3,2392	-0,0946	2,1697
34,1107	10,500	2,9957	0,8304	0,1442	10,4250	3,2720	-0,0894	2,1653
33,9395	10,622	2,9985	0,8368	0,1459	10,4252	3,2555	-0,0830	2,1617
34,1107	10,774	3,0009	0,8416	0,1480	10,4254	3,2719	-0,0781	2,1593
34,1107	10,927	3,0037	0,8713	0,1501	10,4256	3,2718	-0,0485	2,1325
34,4540	11,048	3,0053	0,8693	0,1518	10,4258	3,3047	-0,0505	2,1360
34,7963	11,201	3,0074	0,8809	0,1539	10,4260	3,3374	-0,0389	2,1265
34,7963	11,325	3,0077	0,8825	0,1556	10,4262	3,3374	-0,0373	2,1252
34,6251	11,446	3,0093	0,8849	0,1572	10,4264	3,3209	-0,0348	2,1244
34,9674	11,602	3,0105	0,8853	0,1594	10,4266	3,3537	-0,0345	2,1252
35,1395	11,753	3,0126	0,8877	0,1615	10,4268	3,3701	-0,0321	2,1249
34,9674	11,877	3,0130	0,8986	0,1632	10,4270	3,3535	-0,0212	2,1144
35,3107	12,032	3,0149	0,9045	0,1653	10,4272	3,3864	-0,0152	2,1104
35,4584	12,155	3,0154	0,8977	0,1670	10,4274	3,4005	-0,0220	2,1177
35,2383	12,312	3,0182	0,9073	0,1691	10,4276	3,3793	-0,0124	2,1108
35,2383	12,436	3,0186	0,9250	0,1708	10,4278	3,3793	0,0052	2,0936
35,2383	12,591	3,0198	0,9306	0,1730	10,4280	3,3792	0,0108	2,0892
35,2383	12,715	3,0210	0,9334	0,1747	10,4282	3,3791	0,0136	2,0876
35,2403	12,773	3,0222	0,9386	0,1755	10,4283	3,3793	0,0188	2,0836
35,2422	12,773	3,0201	0,9426	0,1755	10,4283	3,3795	0,0229	2,0775
35,2373	12,773	3,0201	0,9370	0,1755	10,4283	3,3790	0,0173	2,0831
35,2364	12,773	3,0190	0,9426	0,1755	10,4283	3,3789	0,0229	2,0763

35,2413	12,773	3,0186	0,9190	0,1755	10,4283	3,3794	-0,0008	2,0996
35,2413	12,773	3,0182	0,9101	0,1755	10,4283	3,3794	-0,0096	2,1080
35,2471	12,773	3,0178	0,9082	0,1755	10,4283	3,3799	-0,0116	2,1096
35,2579	12,773	3,0173	0,9066	0,1755	10,4283	3,3810	-0,0132	2,1108
35,2520	12,773	3,0173	0,9082	0,1755	10,4283	3,3804	-0,0116	2,1092
35,2364	12,773	3,0158	0,9118	0,1755	10,4283	3,3789	-0,0080	2,1040
35,2422	12,773	3,0154	0,9094	0,1755	10,4283	3,3795	-0,0104	2,1060
35,2403	12,773	3,0149	0,9042	0,1755	10,4283	3,3793	-0,0156	2,1108
35,2403	12,773	3,0149	0,9049	0,1755	10,4283	3,3793	-0,0148	2,1100
35,2403	12,773	3,0133	0,9069	0,1755	10,4283	3,3793	-0,0128	2,1064

RESULTADOS:

Falla
0,7574

Falla
3,4004

Falla
2,237

OBSERVACIONES

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE
TITULACIÓN

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU

PROYECTO	Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU	NORMA:	ASTM D 2850
LOCALIZACION:	Ciudad Victoria	ENSAYO:	CU
INSTITUCIÓN:	UTPL	TIPO:	Remoldeada
MUESTRA:	Pie de talud	PROB.:	4
SOLICITADO:		CALICATA:	1,50m
FECHA:	02-jun-17	REALIZADO:	A.F.C.L.
		INFORME:	Lab-UTPL

Hoja 2 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO CU - PIE DE TALUD

PROBETA			
No.:	2	---	----
Presión de conf. [Kg/cm²]:			1

Carga (Kg)	Deform (mm)	Presión (kg/cm ²)	Presión de poros (kg/cm ²)	Deformación (%)	Area correg (cm ²)	$\sigma_1 - \sigma_3$	Delta m	Pres Efect (kg/cm ²)
0,000	0,000	4,973	0,880	0,000	10,410	0,000	0,000	4,093
4,031	0,022	4,974	0,994	0,000	10,413	0,387	0,113	3,981
6,830	0,046	4,973	1,006	0,001	10,416	0,656	0,126	3,967
8,763	0,082	4,974	0,895	0,001	10,422	0,841	0,015	4,079
9,818	0,116	4,973	0,940	0,002	10,426	0,942	0,060	4,033
12,321	0,153	4,973	0,933	0,002	10,432	1,181	0,053	4,040
13,320	0,204	4,973	1,002	0,003	10,439	1,276	0,122	3,971
13,602	0,258	4,972	1,058	0,004	10,447	1,302	0,178	3,914
14,124	0,365	4,973	1,006	0,005	10,462	1,350	0,126	3,967
14,513	0,482	4,972	0,996	0,007	10,479	1,385	0,116	3,976
15,012	0,610	4,972	0,878	0,008	10,498	1,430	-0,002	4,094
15,530	0,744	4,972	0,892	0,010	10,517	1,477	0,012	4,080
16,314	0,883	4,972	0,864	0,012	10,537	1,548	-0,016	4,108
16,698	1,025	4,977	0,935	0,014	10,558	1,582	0,055	4,041
16,989	1,089	4,980	0,877	0,015	10,567	1,608	-0,003	4,102
17,176	1,250	4,982	0,865	0,017	10,591	1,622	-0,015	4,116
17,320	1,398	4,985	0,861	0,019	10,613	1,632	-0,019	4,124
17,823	1,546	4,987	0,834	0,021	10,635	1,676	-0,046	4,154
18,098	1,613	4,990	0,864	0,022	10,645	1,700	-0,016	4,125
18,520	1,747	4,990	0,830	0,024	10,665	1,737	-0,050	4,160
18,923	1,898	4,991	0,875	0,026	10,688	1,771	-0,005	4,116

19,208	2,069	4,989	1,002	0,028	10,713	1,793	0,122	3,987
19,520	2,223	4,994	1,002	0,030	10,737	1,818	0,121	3,992
19,921	2,361	4,995	0,986	0,032	10,757	1,852	0,106	4,009
20,233	2,447	4,996	0,990	0,033	10,771	1,879	0,109	4,007
20,489	2,517	4,997	1,127	0,034	10,781	1,900	0,246	3,871
20,902	2,605	4,998	1,132	0,036	10,795	1,936	0,252	3,867
21,086	2,676	4,999	1,210	0,037	10,806	1,951	0,330	3,789
21,599	2,765	5,000	1,133	0,038	10,819	1,996	0,253	3,866
21,936	2,835	5,000	1,161	0,039	10,830	2,025	0,281	3,839
22,196	2,924	4,999	1,022	0,040	10,844	2,047	0,142	3,977
22,623	2,994	4,997	1,119	0,041	10,855	2,084	0,238	3,879
22,943	3,084	4,996	1,200	0,042	10,868	2,111	0,319	3,797
23,050	3,155	4,997	1,138	0,043	10,880	2,119	0,258	3,859
23,135	3,225	4,996	1,204	0,044	10,891	2,124	0,324	3,791
23,477	3,314	4,996	1,264	0,045	10,904	2,153	0,384	3,732
23,904	3,385	4,996	1,176	0,046	10,915	2,190	0,296	3,820
24,025	3,474	4,996	1,152	0,048	10,929	2,198	0,272	3,844
24,245	3,546	4,995	1,117	0,049	10,941	2,216	0,236	3,878
24,587	3,707	4,995	1,113	0,051	10,966	2,242	0,232	3,882
24,757	3,869	4,994	1,060	0,053	10,992	2,252	0,180	3,934
24,928	3,941	4,994	1,062	0,054	11,003	2,266	0,182	3,932
25,007	4,104	4,994	1,101	0,056	11,029	2,267	0,220	3,894
25,184	4,178	4,993	1,079	0,057	11,041	2,281	0,199	3,914
25,440	4,363	4,993	1,041	0,060	11,071	2,298	0,161	3,952
25,611	4,435	4,992	1,050	0,061	11,082	2,311	0,170	3,943
25,892	4,600	4,993	1,061	0,063	11,109	2,331	0,181	3,932
26,038	4,765	4,992	1,111	0,065	11,136	2,338	0,231	3,881
26,193	4,838	4,992	1,109	0,066	11,148	2,350	0,229	3,883
26,301	4,928	4,992	1,147	0,067	11,163	2,356	0,267	3,845
26,520	5,000	4,992	0,949	0,068	11,174	2,373	0,069	4,043
26,698	5,072	4,992	1,095	0,069	11,186	2,387	0,215	3,897
26,703	5,233	4,991	1,113	0,072	11,213	2,381	0,233	3,877
26,892	5,397	4,990	1,156	0,074	11,240	2,393	0,276	3,834
26,991	5,486	4,992	1,120	0,075	11,255	2,398	0,240	3,872
27,004	5,645	4,990	1,190	0,077	11,281	2,394	0,310	3,800
27,126	5,716	4,990	1,190	0,078	11,293	2,402	0,310	3,801
27,233	5,879	4,990	1,107	0,080	11,320	2,406	0,227	3,883
27,624	6,044	4,986	0,953	0,083	11,348	2,434	0,073	4,033
26,635	6,135	4,985	0,963	0,084	11,364	2,344	0,083	4,022
26,635	6,301	4,984	0,969	0,086	11,392	2,338	0,089	4,015
26,892	6,447	4,984	0,964	0,088	11,417	2,355	0,084	4,021
26,931	6,539	4,984	0,967	0,089	11,433	2,356	0,087	4,017
27,023	6,703	4,984	0,955	0,092	11,461	2,358	0,075	4,029

27,169	6,796	4,984	0,978	0,093	11,477	2,367	0,098	4,007
27,233	6,869	4,983	0,749	0,094	11,490	2,370	-0,131	4,233
27,318	6,942	4,983	0,752	0,095	11,502	2,375	-0,128	4,231
27,318	7,016	4,983	0,803	0,096	11,515	2,372	-0,077	4,180

RESULTADOS:

Falla
0,7495

Falla
2,4342

Falla
4,2333

OBSERVACIONES:

REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta
Esparza Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE
TITULACIÓN

Departamento de Geología y Minas e Ing. Civil

Laboratorio de Mecánica de Suelos - UTPL ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CU

PROYECTO:	Análisis del comportamiento de los suelos limosos frente al sometimiento de carga en ensayos de compresión triaxial CU y UU	NORMA:	ASTM D 2850
LOCALIZACIÓN: Ciudad Victoria		ENSAYO:	CU
INSTITUCIÓN: U T P L		TIPO PROB.:	Remoldeada
MUESTRA: Pie de talud		CALICATA No.:	4
SOLICITADO:		PROFUND.:	1,50m
FECHA: 02-jun-17		REALIZADO:	A.F.C.L.
		INFORME:	Lab-UTPL

Hoja 3 de 3: REGISTRO DEL ENSAYO CU - PIE DE TALUD

PROBETA No.:	3	--- --- ---	---->
Presión de conf. [Kg/cm ²]:			2

Carga (Kg)	Defor m (mm)	Presi ó n kg/cm ²	Presi ó n de poros kg/cm ²	Deformaci ó n (%)	Area correg (cm ²)	$\sigma_1 - \sigma_3$	Delta m	Pres Efect (kg/cm ²)
0,000	0,000	6,627	0,607	0,000	8,760	0,000	0,000	6,020
5,795	0,192	6,665	0,607	0,003	8,760	0,661	0,000	6,058
8,800	0,333	6,663	0,609	0,005	8,760	1,005	0,002	6,054
13,384	0,587	6,660	0,607	0,008	8,761	1,528	0,000	6,053
15,949	0,826	6,658	0,611	0,011	8,761	1,820	0,004	6,047
18,150	1,071	6,649	0,621	0,015	8,761	2,072	0,014	6,029
19,617	1,329	6,642	0,631	0,018	8,762	2,239	0,024	6,011
20,716	1,591	6,634	0,642	0,022	8,762	2,364	0,035	5,992
21,633	1,863	6,627	0,655	0,026	8,762	2,469	0,048	5,972
21,816	1,928	6,622	0,656	0,027	8,762	2,490	0,049	5,966
22,184	2,017	6,616	0,658	0,028	8,762	2,532	0,051	5,958
22,184	2,081	6,617	0,662	0,029	8,763	2,532	0,055	5,955
22,550	2,150	6,618	0,662	0,030	8,763	2,573	0,055	5,956
22,550	2,235	6,607	0,665	0,031	8,763	2,573	0,057	5,943
22,734	2,302	6,609	0,669	0,032	8,763	2,594	0,062	5,940
22,734	2,374	6,607	0,671	0,033	8,763	2,594	0,064	5,936

22,917	2,457	6,603	0,673	0,034	8,763	2,615	0,066	5,930
23,100	2,547	6,595	0,674	0,035	8,763	2,636	0,067	5,920
23,283	2,613	6,598	0,677	0,036	8,763	2,657	0,070	5,921
23,467	2,681	6,597	0,679	0,037	8,763	2,678	0,072	5,917
23,283	2,769	6,587	0,681	0,039	8,763	2,657	0,074	5,906
23,650	2,837	6,584	0,684	0,039	8,763	2,699	0,077	5,900
23,833	2,925	6,583	0,685	0,041	8,764	2,720	0,078	5,898
23,833	2,993	6,581	0,689	0,042	8,764	2,720	0,082	5,892
24,016	3,059	6,573	0,691	0,043	8,764	2,740	0,084	5,883
24,200	3,130	6,571	0,693	0,044	8,764	2,761	0,086	5,878
24,016	3,215	6,567	0,695	0,045	8,764	2,740	0,088	5,873
24,383	3,285	6,564	0,697	0,046	8,764	2,782	0,090	5,867
24,566	3,371	6,556	0,698	0,047	8,764	2,803	0,091	5,859
24,566	3,456	6,552	0,700	0,048	8,764	2,803	0,093	5,852
24,383	3,526	6,551	0,702	0,049	8,764	2,782	0,095	5,849
24,750	3,612	6,543	0,705	0,050	8,764	2,824	0,098	5,838
24,750	3,682	6,543	0,707	0,051	8,764	2,824	0,100	5,836
24,750	3,768	6,541	0,708	0,052	8,765	2,824	0,101	5,834
24,750	3,838	6,536	0,712	0,053	8,765	2,824	0,105	5,824
25,117	3,925	6,530	0,713	0,055	8,765	2,866	0,106	5,817
24,934	3,994	6,528	0,714	0,056	8,765	2,845	0,107	5,814
24,934	4,081	6,525	0,716	0,057	8,765	2,845	0,109	5,810
25,300	4,149	6,519	0,718	0,058	8,765	2,886	0,111	5,802
25,117	4,237	6,519	0,719	0,059	8,765	2,865	0,112	5,800
25,117	4,307	6,516	0,723	0,060	8,765	2,865	0,116	5,794
25,300	4,392	6,510	0,723	0,061	8,765	2,886	0,116	5,787
25,484	4,465	6,505	0,725	0,062	8,765	2,907	0,118	5,779
25,484	4,548	6,503	0,725	0,063	8,766	2,907	0,118	5,778
25,850	4,618	6,502	0,730	0,064	8,766	2,949	0,123	5,771
25,667	4,704	6,493	0,731	0,065	8,766	2,928	0,124	5,762

25,667	4,770	6,493	0,733	0,066	8,766	2,928	0,126	5,759
25,850	4,858	6,492	0,733	0,068	8,766	2,949	0,126	5,759
26,033	4,926	6,488	0,736	0,069	8,766	2,970	0,129	5,752
26,033	5,013	6,481	0,738	0,070	8,766	2,970	0,131	5,743
26,033	5,097	6,479	0,739	0,071	8,766	2,970	0,132	5,739
25,850	5,184	6,476	0,741	0,072	8,766	2,949	0,134	5,735
26,033	5,253	6,468	0,743	0,073	8,766	2,970	0,136	5,725
26,217	5,338	6,468	0,743	0,074	8,767	2,991	0,136	5,725
26,400	5,408	6,468	0,746	0,075	8,767	3,011	0,139	5,723
26,583	5,494	6,460	0,748	0,076	8,767	3,032	0,141	5,712
26,583	5,581	6,458	0,749	0,078	8,767	3,032	0,142	5,708
26,583	5,650	6,454	0,752	0,079	8,767	3,032	0,145	5,702
26,583	5,735	6,451	0,752	0,080	8,767	3,032	0,145	5,699
26,583	5,805	6,442	0,753	0,081	8,767	3,032	0,146	5,689
26,950	5,872	6,443	0,749	0,082	8,767	3,074	0,142	5,694
26,766	5,957	6,442	0,747	0,083	8,767	3,053	0,140	5,695
26,950	6,027	6,436	0,748	0,084	8,767	3,074	0,141	5,689
26,766	6,113	6,432	0,749	0,085	8,767	3,053	0,142	5,683
26,950	6,202	6,430	0,750	0,086	8,768	3,074	0,143	5,681
26,950	6,286	6,427	0,753	0,087	8,768	3,074	0,146	5,674
27,133	6,354	6,419	0,753	0,088	8,768	3,095	0,146	5,666
27,133	6,424	6,418	0,755	0,089	8,768	3,095	0,148	5,663
27,316	6,514	6,417	0,757	0,091	8,768	3,115	0,150	5,660
27,316	6,580	6,414	0,760	0,092	8,768	3,115	0,153	5,654
27,316	6,664	6,408	0,760	0,093	8,768	3,115	0,153	5,648
27,499	6,734	6,406	0,761	0,094	8,768	3,136	0,154	5,645
27,316	6,819	6,404	0,763	0,095	8,768	3,115	0,156	5,641
27,499	6,890	6,396	0,765	0,096	8,768	3,136	0,158	5,631
27,683	6,954	6,396	0,766	0,097	8,768	3,157	0,159	5,630
27,683	7,040	6,393	0,767	0,098	8,769	3,157	0,160	5,626

27,683	7,110	6,390	0,769	0,099	8,769	3,157	0,162	5,621
27,683	7,193	6,381	0,771	0,100	8,769	3,157	0,164	5,610
27,683	7,264	6,381	0,771	0,101	8,769	3,157	0,164	5,610
27,316	7,349	6,380	0,772	0,102	8,769	3,115	0,165	5,608
27,683	7,417	6,373	0,774	0,103	8,769	3,157	0,167	5,599
27,683	7,488	6,370	0,775	0,104	8,769	3,157	0,168	5,595
27,866	7,573	6,368	0,779	0,105	8,769	3,178	0,172	5,590
27,866	7,660	6,365	0,779	0,107	8,769	3,178	0,172	5,586
28,050	7,729	6,358	0,779	0,107	8,769	3,199	0,172	5,579
28,050	7,795	6,356	0,781	0,108	8,770	3,199	0,174	5,575
28,234	7,886	6,355	0,782	0,110	8,770	3,219	0,175	5,573
28,234	7,953	6,351	0,784	0,111	8,770	3,219	0,177	5,566
28,234	8,044	6,345	0,786	0,112	8,770	3,219	0,179	5,560
28,234	8,130	6,343	0,787	0,113	8,770	3,219	0,180	5,557
28,234	8,200	6,341	0,788	0,114	8,770	3,219	0,181	5,553
28,234	8,270	6,335	0,790	0,115	8,770	3,219	0,183	5,545
28,417	8,356	6,333	0,792	0,116	8,770	3,240	0,185	5,541
28,417	8,426	6,333	0,792	0,117	8,770	3,240	0,184	5,542
28,417	8,513	6,328	0,794	0,118	8,770	3,240	0,187	5,534
28,600	8,585	6,320	0,796	0,119	8,770	3,261	0,189	5,524
28,600	8,673	6,318	0,798	0,121	8,771	3,261	0,191	5,520
28,417	8,743	6,317	0,798	0,122	8,771	3,240	0,191	5,519
28,783	8,832	6,309	0,800	0,123	8,771	3,282	0,192	5,510
28,783	8,902	6,309	0,801	0,124	8,771	3,282	0,194	5,509
28,600	8,994	6,307	0,802	0,125	8,771	3,261	0,195	5,506
28,783	9,064	6,304	0,803	0,126	8,771	3,282	0,196	5,501
28,967	9,136	6,296	0,803	0,127	8,771	3,303	0,196	5,493
28,967	9,225	6,297	0,806	0,128	8,771	3,302	0,199	5,491
28,967	9,313	6,295	0,807	0,130	8,771	3,302	0,200	5,488
28,967	9,389	6,288	0,807	0,131	8,771	3,302	0,200	5,481

28,967	9,457	6,284	0,809	0,132	8,772	3,302	0,202	5,475
29,150	9,550	6,282	0,812	0,133	8,772	3,323	0,205	5,471
28,967	9,620	6,281	0,812	0,134	8,772	3,302	0,205	5,469
29,333	9,692	6,273	0,814	0,135	8,772	3,344	0,207	5,460
29,333	9,785	6,271	0,814	0,136	8,772	3,344	0,207	5,457
29,516	9,854	6,271	0,816	0,137	8,772	3,365	0,209	5,455
29,516	9,947	6,266	0,818	0,138	8,772	3,365	0,211	5,447
29,516	10,03	6,259	0,817	0,140	8,772	3,365	0,210	5,442
29,516	10,10	6,258	0,819	0,141	8,772	3,365	0,212	5,439
29,516	10,19	6,251	0,821	0,142	8,772	3,365	0,214	5,430
29,700	10,2	6,251	0,822	0,143	8,773	3,386	0,215	5,429
29,700	10,3	6,248	0,824	0,144	8,773	3,386	0,217	5,423
29,883	10,42	6,243	0,825	0,145	8,773	3,406	0,218	5,418
29,516	10,52	6,242	0,826	0,146	8,773	3,364	0,219	5,415
29,700	10,59	6,240	0,827	0,147	8,773	3,385	0,220	5,413
29,700	10,68	6,232	0,828	0,149	8,773	3,385	0,221	5,404
29,700	10,76	6,231	0,829	0,150	8,773	3,385	0,222	5,402
29,883	10,85	6,226	0,830	0,151	8,773	3,406	0,223	5,397
29,883	10,94	6,223	0,832	0,152	8,773	3,406	0,225	5,391
29,883	11,01	6,220	0,832	0,153	8,773	3,406	0,225	5,389
29,883	11,09	6,214	0,835	0,154	8,774	3,406	0,228	5,379
29,883	11,16	6,214	0,834	0,155	8,774	3,406	0,227	5,380
30,066	11,25	6,210	0,834	0,157	8,774	3,427	0,227	5,376
30,249	11,34	6,204	0,837	0,158	8,774	3,448	0,230	5,367
30,249	11,42	6,203	0,839	0,159	8,774	3,448	0,232	5,364
30,433	11,51	6,196	0,841	0,160	8,774	3,469	0,234	5,355
30,433	11,58	6,196	0,841	0,161	8,774	3,469	0,234	5,355
30,433	11,66	6,195	0,842	0,162	8,774	3,468	0,235	5,353
30,616	11,75	6,191	0,842	0,163	8,774	3,489	0,235	5,348
30,616	11,83	6,183	0,844	0,165	8,774	3,489	0,237	5,339

30,799	11,90	6,183	0,844	0,166	8,775	3,510	0,237	5,340
30,616	11,99	6,182	0,846	0,167	8,775	3,489	0,239	5,335
30,799	12,07	6,177	0,848	0,168	8,775	3,510	0,241	5,329
30,799	12,16	6,173	0,847	0,169	8,775	3,510	0,240	5,326
30,799	12,23	6,172	0,849	0,170	8,775	3,510	0,242	5,323
30,799	12,31	6,168	0,850	0,171	8,775	3,510	0,243	5,318
30,799	12,38	6,163	0,852	0,172	8,775	3,510	0,245	5,311
30,984	12,48	6,161	0,852	0,174	8,775	3,531	0,245	5,309
30,799	12,55	6,162	0,855	0,175	8,775	3,510	0,248	5,307
30,799	12,62	6,157	0,855	0,176	8,775	3,510	0,248	5,302
30,799	12,72	6,149	0,858	0,177	8,776	3,510	0,251	5,291
30,799	12,79	6,147	0,858	0,178	8,776	3,510	0,251	5,288

RESULTADOS:

Falla
0,607

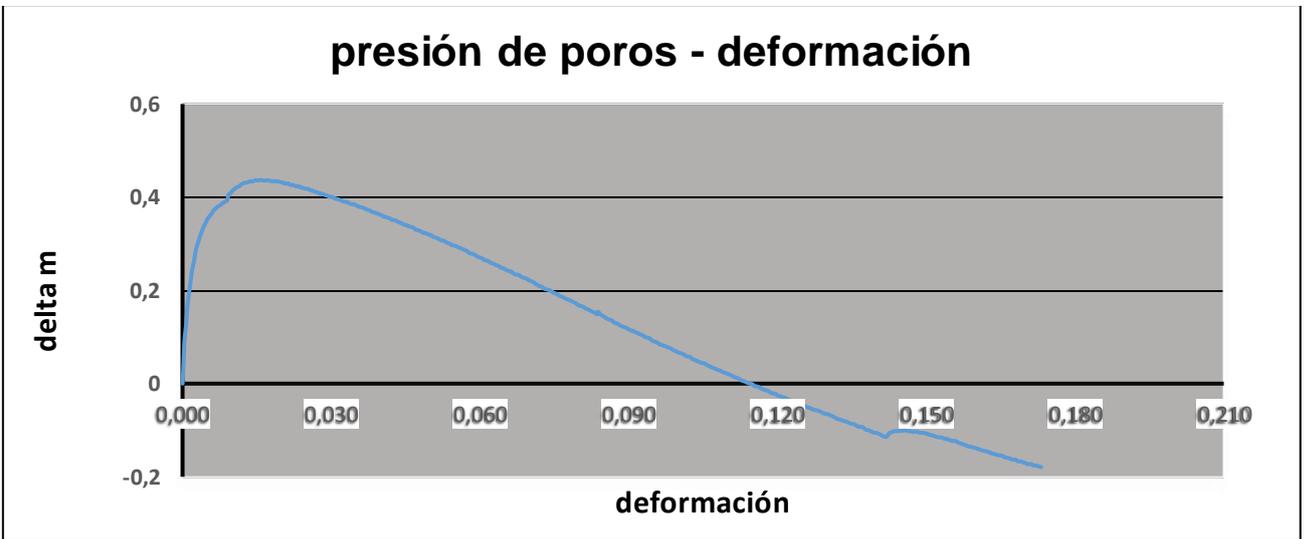
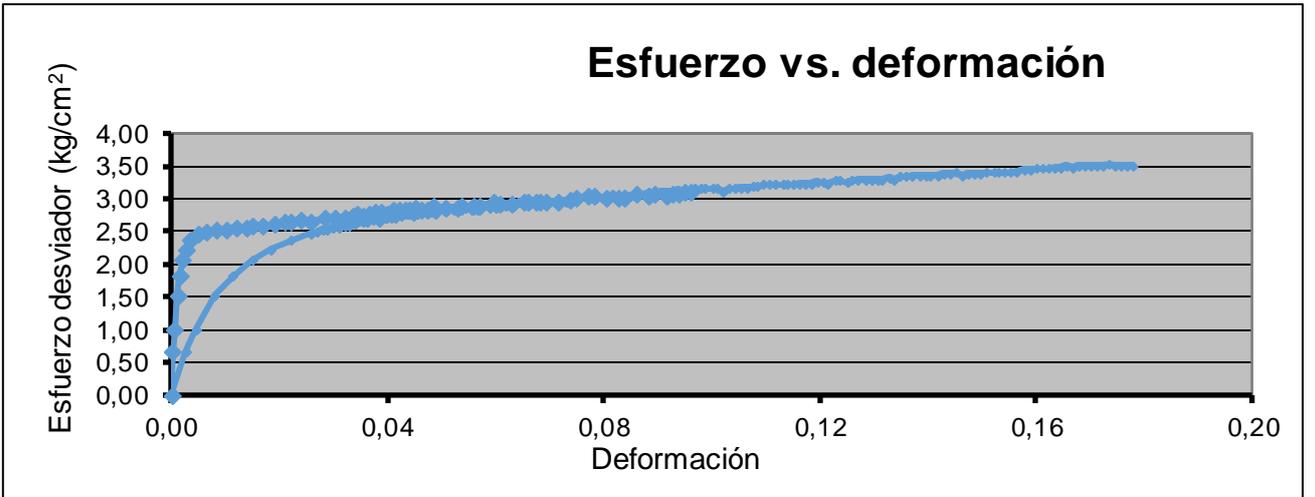
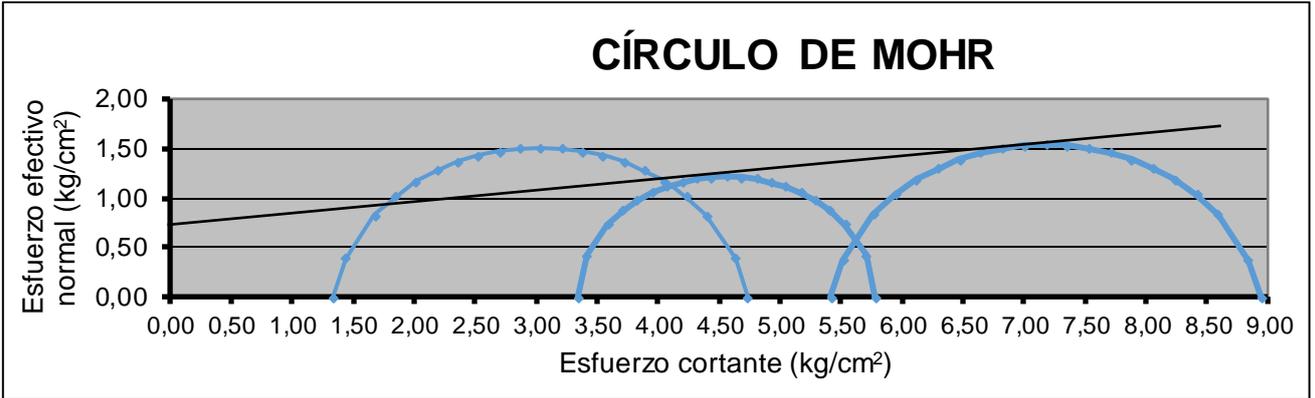
Falla
3,5308

Falla
6,0580

OBSERVACIONES:

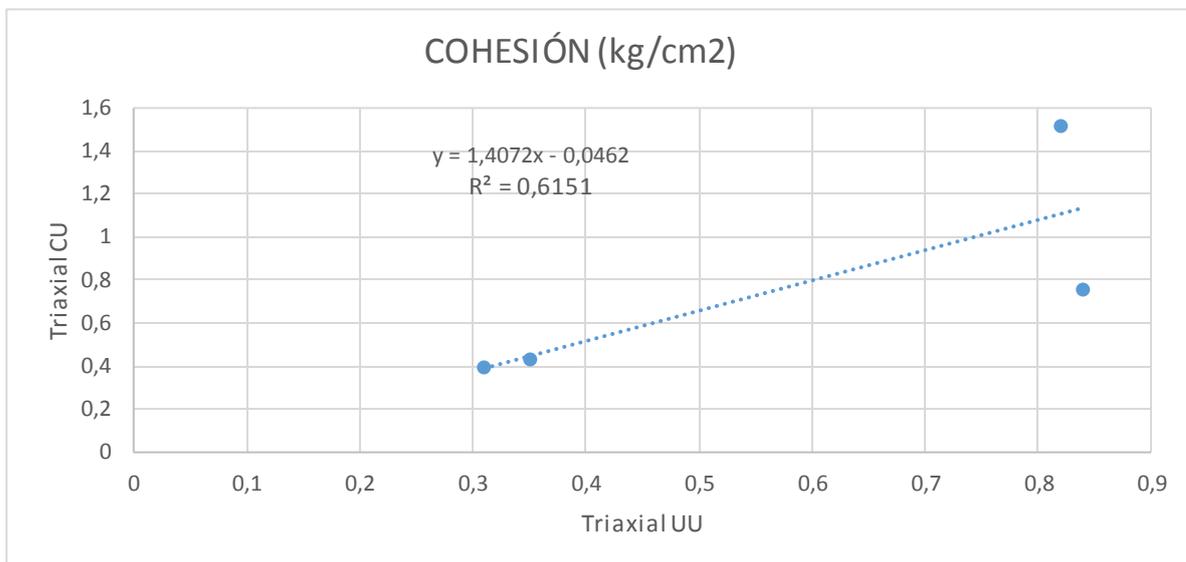
REVISADO:

Mg.Sc. Carmen Antonieta Esparza
Villalba
DIRECTORA DE TRABAJO FIN DE
TITULACIÓN

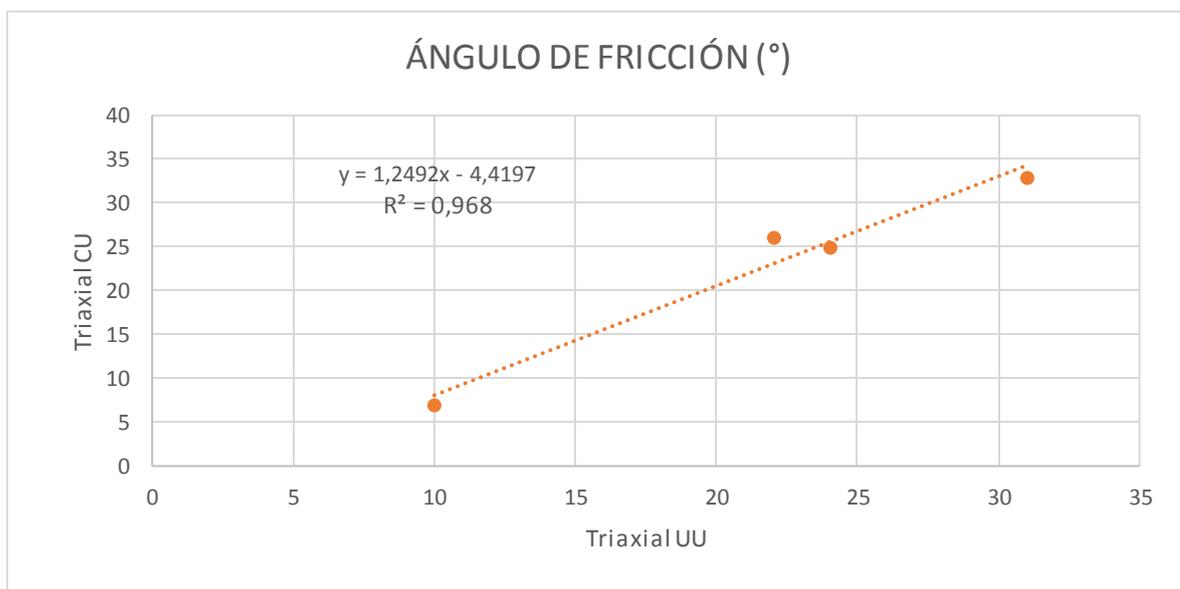


Anexo D. Correlación de resultados ensayo triaxial UU y CU.

- Correlación entre valores de cohesión.

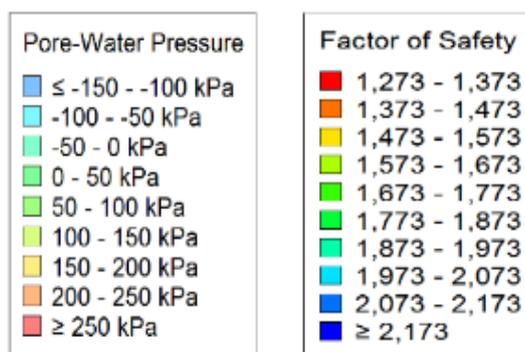
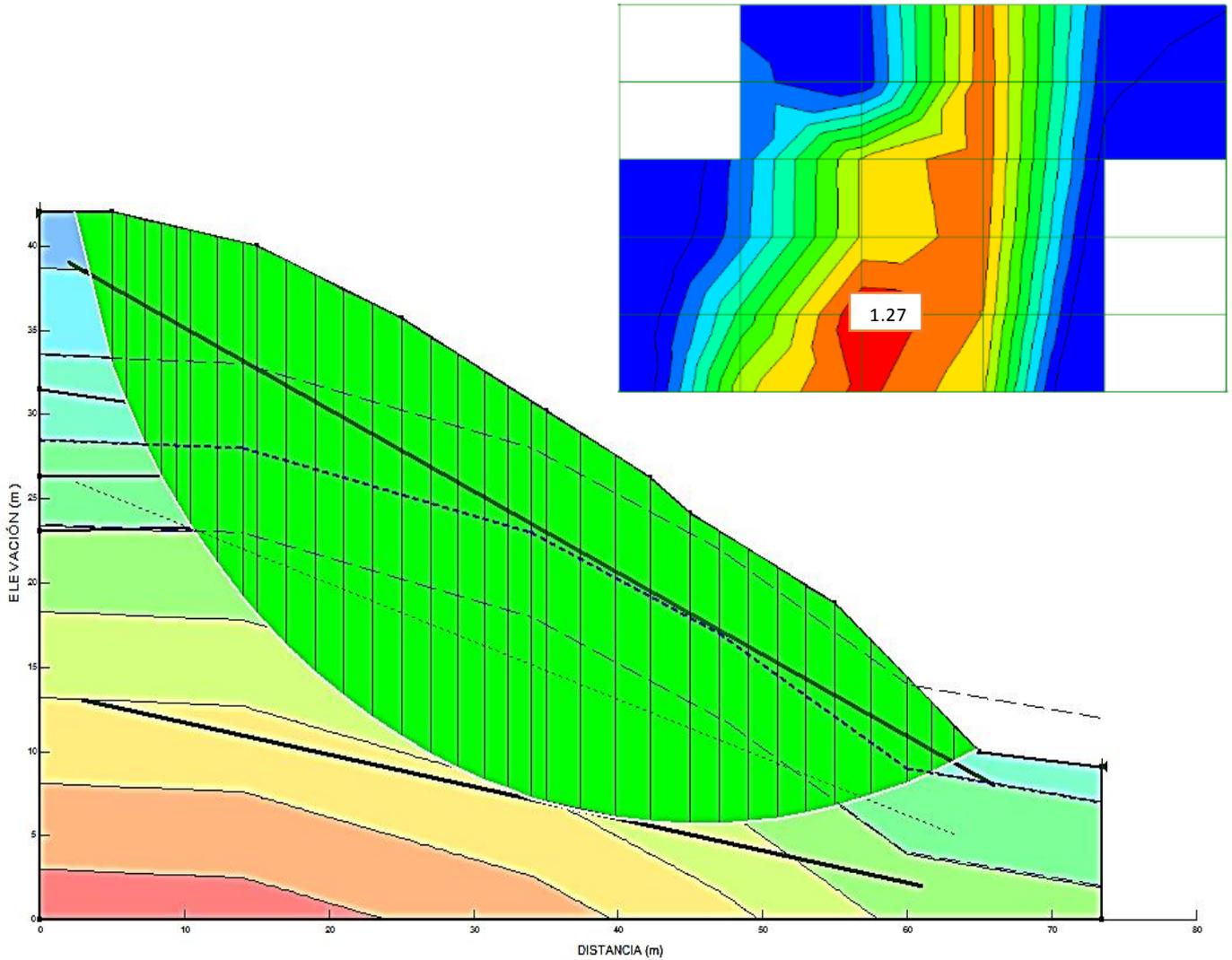


- Correlación entre valores de ángulo de fricción.



Anexo E. Modelaciones GeoStudio 2012 (SLOPE/W) (versión estudiantil)

- Modelación del talud con parámetros totales obtenidos en triaxial UU



- Modelación del talud con parámetros efectivos obtenidos en triaxial CU

