

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Prof. Patrocinante: Ricardo E. Riveros Velásquez

**“Análisis de Variación del Índice de Penetración Dinámico
(N_{10}) por influencia de la Precipitación en Taludes de
Campo”**

**“Proyecto de Título en conformidad a los requisitos para obtener el
Título de Ingeniero Civil”**

ALONSO A. GARRIDO GONZALEZ

Concepción, Diciembre del 2011

Dedicatoria:

Dedico este proyecto de título a las personas que me han apoyado durante toda mi vida, a mi familia, sin ellos esta etapa no hubiera podido ser posible.

Agradecimientos:

“CAERSE ESTA PERMITIDO, LEVANTARSE OBLIGATORIO”

Proverbio Ruso

Esta frase representa el pensamiento que siempre he tratado de llevar y las personas nombradas a continuación me han permitido levantarme cuando lo he requerido.

En primer lugar doy las gracias a Dios por haberme guiado durante toda mi vida como estudiante universitario.

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres por su apoyo incondicional durante todo este proceso. Gracias por enseñarme a elegir el siempre el camino del trabajo y el esfuerzo para conseguir mis objetivos.

Quiero dar las gracias a las personas que me han permitido desarrollar habilidades más allá de lo académico las cuales que me han permitido crecer como persona integral, sobre todo a los profesores del área de deportes de la Universidad del Bío Bío.

A la Universidad del Bío Bío y en especial al departamento de Ingeniería Civil y Ambiental que me formaron como un profesional.

Finalmente les dedico este proyecto de título a todos los que me han apoyado durante mi vida amigos, familiares, profesores de toda mi vida estudiantil y a los que me han entregado alguna enseñanza o consejo, porque gracias a ellos terminé esta etapa de mi vida de manera exitosa.

INDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Introducción.....	3
1.2 Objetivo General.....	4
1.3 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II: ANTECEDENTES GENERALES.....	5
2.1 Estudios realizados anteriormente.....	5
2.1.1 <i>Estudios para la determinación del frente húmedo.....</i>	<i>6</i>
2.1.2 <i>Modelos empíricos para predicción de deslizamientos.....</i>	<i>8</i>
2.1.3 <i>Modelos de capacidad del suelo de taludes por acción de las precipitaciones.....</i>	<i>10</i>
2.1.4 <i>Definición de propuesta de estudio.....</i>	<i>12</i>
2.2 Principios de los Penetrómetros Dinámicos.....	13
2.2.1 <i>Características generales del equipo DPL.....</i>	<i>13</i>
2.2.2 <i>Fundamentos energéticos del equipo DPL.....</i>	<i>14</i>
CAPÍTULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	17
3.3 Demarcación de lugares de muestreo.....	18
3.4 Construcción de equipos complementarios.....	19
3.5 Realización de ensayo de golpes con equipo de campo.....	19
3.6 Elaboración del perfil de la zona muestreada.....	20
3.7 Observación sobre seguridad en la realización de la experiencia.....	20
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA EXPERIENCIA.....	21
4.1 Ensayos de Mecánica de Suelos.....	21
4.1.1 <i>Variables medidas.....</i>	<i>21</i>
4.1.2 <i>Variables obtenidas de otros estudios.....</i>	<i>22</i>
4.2 Precipitación Acumulada Medida.....	24
4.3 Resultado de Sondajes.....	24
4.3.1 <i>Resultado de los sondajes realizados por punto.....</i>	<i>24</i>
4.3.2 <i>Perfiles de resistencia del terreno estimada con Sondajes.....</i>	<i>31</i>

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	33
5.1 Conclusiones Sobre la Factibilidad del Ensayo.	33
5.2 Conclusiones Sobre Los Resultado Obtenidos en Muestreo.	33
5.3 Observaciones Sobre la Factibilidad del Ensayo.	35
5.4 Recomendación de Nuevas Investigaciones.	36
BIBLIOGRAFÍA.	37

“Análisis de Variación del Índice de Penetración Dinámico (N_{10}) por influencia de la Precipitación en Taludes de Campo”

ALONSO ARTURO GARRIDO GONZALEZ

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

alogarri@alumnos.ubiobio.cl

RICARDO ESTEBAN RIVEROS VELASQUEZ

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío

rriveros@ubiobio.cl

Resumen:

En el presente Proyecto de Título se analiza el efecto en la resistencia del suelo en un talud real producto de la acumulación de precipitación. En la Provincia de Concepción (Chile) una gran población vive en cerros, por lo es necesario mantenerlos monitoreados para la prevención de catástrofes. Este Proyecto de Título promueve la investigación para la detección y prevención de catástrofes generadas por estos fenómenos.

El desarrollo del proyecto se realizó en tres etapas; la primera de éstas consistió en una revisión bibliográfica, de la cual se determinó que actualmente las principales investigaciones han sido realizadas en laboratorio utilizando modelos computacionales que no consideran particularidades del terreno. Dada la importancia de obtener información en terreno, mediante la utilización de un estudio de campo, la segunda etapa del proyecto consistió en desarrollar un procedimiento y metodología de trabajo, que permita medir la variación de resistencia del suelo por acción de las precipitaciones in situ, utilizando para esto un equipo de sondaje. Finalmente para validar la metodología y procedimiento propuesto, se realizó la experiencia in situ con el equipo de sondaje para las condiciones de precipitación existentes en la zona.

Para medir la variación de resistencia del suelo en terreno, se decidió adaptar un equipo de penetración ligero de registro continuo (DPL) a las condiciones propias del talud. La elección del equipo DPL se realizó por ser éste un equipo portable para las condiciones existentes en taludes en comparación con equipos de las misma categoría.

Se realizaron quince puntos de muestreo en el talud de estudio, en el cual, durante la etapa experimental se mantuvo un registro de precipitaciones, se caracterizó la zona para identificar condiciones del suelo estudiado y determinar la variación del índice de infiltración antes y después del estudio.

Se obtuvo como resultado que el aumento de las precipitaciones generó una disminución de la resistencia a la hinca del sondaje, la disminución no es uniforme y depende de particularidades en el suelo como la presencia de raíces, material rocoso y cambios en los estratos del suelo.

Palabras Claves: Deslizamientos de suelo, Estabilidad de taludes, Resistencia del suelo

8240 palabras + 8 Figuras/Tablas*250+6 Figuras/Tablas *300= 12040 Palabras totales

Abstract

The purpose of this investigation is to determine the effect of rainfall on soil resistance in real slopes. In Concepción province, Chile, a large population lives in hills, so it is necessary to keep this areas monitored to avoid possible disasters. This investigation promotes the research for prevention and detection of these types of disaster.

The investigation was mainly carried out in three stages: the first stage was a literature review that determined that currently the main research has been carried out in laboratory, using computer model which do not consider the soil features. Given the importance to obtain information about these areas, by using a field study, the second stage was to develop a procedure and working methods to measure the variability of soil resistance by the action of rainfall, using drilling equipment. Finally, to validate the proposed procedure and methodology, an experiment was carried out with the drilling machine to determine the rainfall condition in the area.

On the other hand, to measure the variation of soil resistance, was decided to adapt a lightweight penetrating equipment of continuous recording (DPL) to the conditions of the analyzed slope. The DPL equipment was selected because it was the portable equipment for the existing conditions in slope compared to the other similar equipment

During the investigation, fifteen sample points in the studied slope were chosen. On the experimental stage, a rainfall report was developed, the area was analyzed to identify the real conditions of the studied soil and finally, it was determined the variability of the infiltration index before and after the study.

The result of the investigation showed that the increase precipitation produced a less resistance to the drill driver. The decrease is not uniform and depends on soil characteristics such as roots, rock materials and changes in soil layers.

Keywords: Rainfall, Slope stability, Soil resistance

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1 Introducción.

Las fallas de taludes son un problema permanente que han generado durante años pérdidas económicas y de vidas humanas en la provincia de Concepción. A través de los años se han producido catástrofes que tienen relación con la ocurrencia de deslizamientos de terreno. Es por esto que se realizan investigaciones en el mundo con el fin de aumentar los conocimientos sobre las causas de los deslizamientos de terreno en taludes.

Las fallas de taludes se generan por diversos agentes como: acción del viento, sustancias químicas, extracción de áridos del talud, el manejo irresponsable por el hombre, acción del agua, etc. En el caso de la Provincia de Concepción, el agua es el principal agente generador de fallas en taludes, la cual presenta precipitaciones que alcanzan los 1100 mm/año en promedio (fuente: Dirección Meteorológica de Chile).

Estudios realizados, han determinado que las precipitaciones generan zonas del suelo que poseen una mayor humedad la cual se genera por la infiltración de éstas; dicha zona se le denominó “frente húmedo”. En la actualidad los estudios realizados a la influencia de las precipitaciones en la estabilidad han sido enfocados en análisis y construcción de umbrales empíricos y físicos, siendo los primeros basados en la cantidad de precipitaciones requerida para provocar una falla por deslizamiento, mientras que para los umbrales físicos se consideran aspectos del suelo que se desea analizar, para realizar la modelación respectiva. En la actualidad existe una nueva línea de investigación que considera al frente húmedo como una posible línea de generación de deslizamientos, siendo esto provocado por la pérdida de resistencia del suelo que genera el agua.

Debido a que la investigación de la pérdida de resistencia del suelo en taludes se ha realizado principalmente utilizando modelos computacionales, surge la motivación de realizar esta investigación, en la cual se analizará en terreno y en condiciones naturales la variación de la resistencia del suelo por influencia de las precipitaciones utilizando un equipo de campo de penetración dinámica de registro continuo (DPL).

1.2 Objetivo General.

- Analizar la variación de resistencia de terreno producto del efecto de la influencia de la precipitación en taludes de campo mediante equipo de Penetración Dinámico Ligeró (DPL)

1.3 Objetivos Específicos.

- Implementar un procedimiento y metodología de uso de equipo de ensayo, para terrenos en pendiente.
- Determinar la resistencia superficial de taludes en el periodo de análisis utilizando ensayo de campo.
- Validar el procedimiento propuesto a través de una experiencia de campo.
- Analizar la variación de resistencia superficial del talud respecto a la precipitación acumulada a la fecha de realización del muestreo.

Obtenido los objetivos planteados para este Proyecto de título, se sugerirán nuevas líneas de investigación que permitan ampliar el campo de conocimiento del tema investigado en la presente publicación.

CAPÍTULO II: ANTECEDENTES GENERALES.

Este capítulo describe de manera breve las publicaciones realizados hasta la fecha con respecto al estudio del efecto en el agua en la resistencia superficial de los taludes y a la estabilidad de taludes por acción del agua, junto con una descripción de las características del equipo de campo que se utilizará para la experiencia.

2.1 Estudios realizados anteriormente.

Se ha realizado una variada investigación de los efectos de las precipitaciones en la generación de los deslizamientos de terreno. Las líneas de investigación más antiguas se han basado en dos tipos de modelos: empíricos y físicos. Para el caso de los primeros, sólo consideran la precipitación acumulada en el colapso de la masa de suelo mientras que para el caso de los modelos físicos consideran características propias del suelo y el ambiente existente para determinar el momento que se genera la falla. En estos estudios se ha determinado que una zona del suelo se encuentra húmeda por acción de la infiltración de las precipitaciones. Dicha zona se conoce por frente húmedo y a la cual se han generado diversos modelos con el objeto de determinar el espesor que posee esta franja de suelo húmeda. Actualmente se ha desarrollado una nueva línea de investigación que condensa los estudios anteriores. Esto debido a que se ha supuesto que el agua infiltrada en el suelo es capaz de provocar una pérdida en la capacidad de resistencia al corte del suelo, siendo este tramo la línea de falla de un deslizamiento masivo de la masa del talud. En estas investigaciones se consideran propiedades del suelo como a su vez de las condiciones ambientales para un correcto análisis.

Resulta importante conocer algunos estudios de infiltración del agua en el suelo y el efecto de la lluvia en él. Esto debido a que las investigaciones relacionadas con la resistencia del suelo por acción de las precipitaciones, relacionan las lluvias y el espesor de la capa de suelo con agua infiltrada como punto de falla de un deslizamiento de suelo. Por lo que se desea explicar el ítem de espesor de suelo con agua infiltrada, los efectos del agua en la generación de los deslizamientos con los estudios individuales realizados anteriormente, con el objeto de comprender el contexto en el cual se consideran estas variables en conjunto al momento de analizar la variación de resistencia en el suelo en las actuales investigaciones.

2.1.1 Estudios para la determinación del frente húmedo.

Actualmente existe variados modelos que se utilizan para determinar el frente húmedo, en este ítem se resumirá algunos de los más conocidos métodos:

A) *Modelo de Lumb para determinación de frente húmedo.*

En 1975 Lumb (citado por Suarez, 2009) genera un modelo para determinar espesor del frente húmedo para suelos no saturados el cual es el siguiente:

Ec. (1)

Donde:

H: Espesor del frente húmedo.

k: Coeficiente de permeabilidad.

n: Porosidad.

S_f: Grado final de saturación.

S₀: Grado inicial de saturación.

τ: Tiempo de duración de las Precipitaciones.

El modelo propuesto por Lumb es simple y de rápida determinación. Sin embargo no considera la pendiente que posee el talud ni la intensidad de las precipitaciones, ya que sólo considera la duración del evento.

B) *Modelo Green-Ampt para taludes.*

En 1911 Green-Ampt (Citado por Li Chen, 2006) determinan una ecuación para cuantificar la infiltración producto de las precipitaciones en los suelos no-saturados. Se utilizó como base para el análisis la ley de Darcy. Sin embargo esta fórmula no se adecuaba a los taludes, por lo que en Li Chen (1996) ajusta la ecuación original para la utilización en taludes presentándose de la siguiente manera:

$$i = i_c = K_c \frac{Z^* f \cos \gamma + S_f + H}{Z^* f} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

i_c : Tasa de infiltración para una condición de infiltración acumulada,

K_c : Conductividad hidráulica saturada efectiva,

$Z^* f$: Espesor de superficie húmeda que avanza en dirección normal a la superficie del suelo

s_f : Potencial matricial de succión,

H: espesor de agua acumulada en la superficie del suelo.

$Z^* f \cos \gamma$: Cabeza de la gravedad en el frente de la adherencia de soldadura.

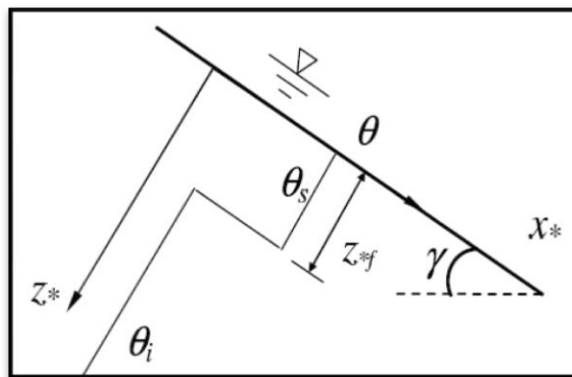


Figura 1: Variables de superficie del talud utilizadas para calcular la superficie de infiltración. (Fuente: Li Chen, 2006)

A diferencia del modelo de Lumb, el modelo para taludes de Green-Ampt se ajusta de mejor manera a las características propias del talud. Sin embargo, la determinación de las variables requiere de un mayor análisis matemático, por lo que dificulta su rápido uso en terreno y por lo que se restringe su uso a experiencias de laboratorio donde existe un control de las variables a considerar.

2.1.2 Modelos empíricos para predicción de deslizamientos.

En la actualidad existe una gran variedad de modelos empíricos para la predicción de los deslizamientos. Es por esto que se nombrará algunos y sus características generales.

A) *Estudio De Caine sobre umbrales de precipitación para inicio de deslizamientos.*

De Caine (1980, citado por Ramírez, 2010) generó el primer modelo empírico en el cual se consideraba la intensidad de la precipitación utilizando lugares que no se vieron afectados por agentes externos (ríos y arroyos colindantes), siendo la intensidad necesaria para producir la precipitación determinada de la siguiente manera:

Ec. (3)

Donde:

D: Duración de la precipitación (h)

I: Intensidad de la precipitación (mm/h)

El desarrollo de este modelo presentó una particularidad con la obtención de los resultados. Esto se debe a que los datos se obtuvieron en situaciones no homogéneas por lo que las estimaciones no son completamente válidas, lo que provoca la pérdida en el rango de exactitud del estudio.

B) *Estudio De Kim et al. sobre precipitación antecedente.*

El modelo propuesto por De Kim (1971) (citado por Ramírez 2010), se diferencia del modelo de De Caine, al considerar el estudio de taludes y el efecto de la precipitación acumulada en la generación del deslizamiento (el anterior considera todo tipo de terreno, intensidad y duración de la lluvia). La investigación realizada demostró (figura 2) que los deslizamientos producidos por sobre la línea discontinua están regidos por la intensidad de las precipitaciones, mientras que en la zona inferior del umbral la precipitación acumulada es la que predominará en la falla del talud.

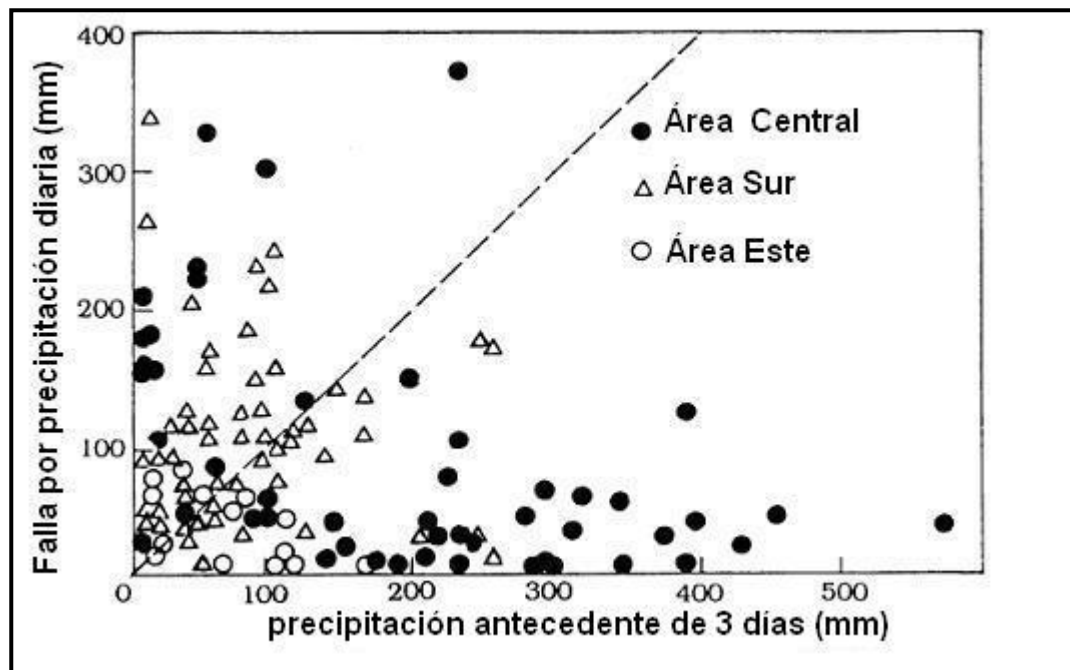


Figura 2. Correlación de falla por precipitación diaria y la precipitación antecedente de 3 días en Corea por Kim et al. (Fuente: Guzzetti et al 2005, citado por Ramírez, 2010).

C) *Estudio de Chleboard sobre precipitación acumulada.*

Estudios generados por Chleboard (2000, citado por Ramírez, 2010) en Seattle (EE.UU.) en el cual se investigaron 1300 deslizamientos de terreno (se consideraban deslizamientos de escombros, rocas y suelo, además de desprendimientos y caídas de estos mismos) utilizando como base lugares donde ocurrieron tres o más deslizamientos en un periodo de tres días, generando con esta información una aproximación inferior del umbral de precipitaciones definido por la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. (4)}$$

Donde:

P_3 : Precipitación de tres días (mm.).

P_{15} : Precipitación acumulada de 15 días generada antes de los tres días considerados (mm.).

La ecuación anterior fue modelada en el gráfico de la figura 3 (citado por Ramírez, 2010) que relaciona la precipitación acumulada en la generación de los deslizamientos.

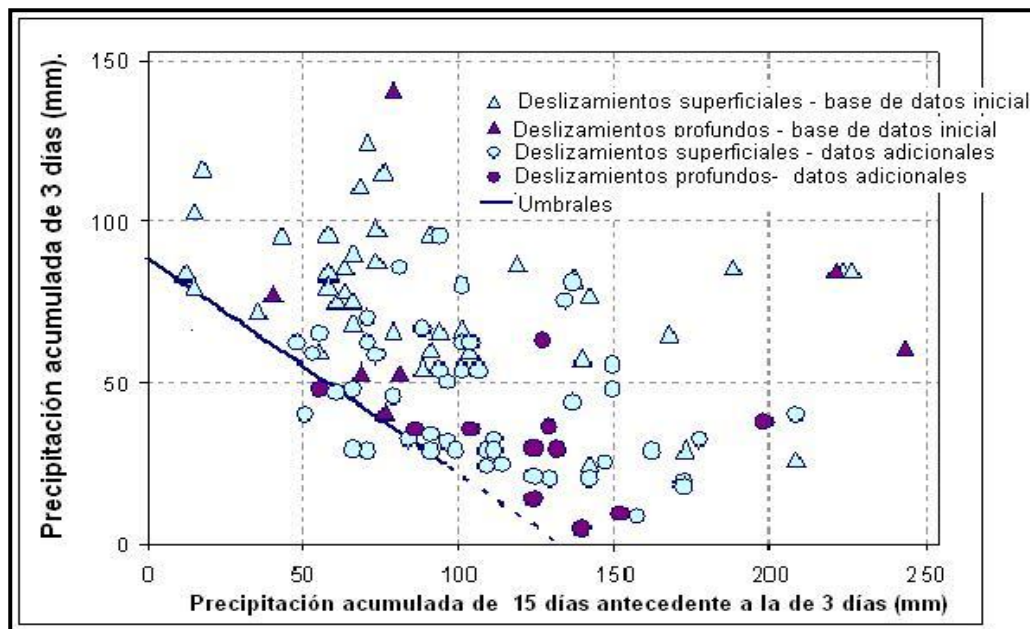


Figura 3. Precipitación acumulada de 3 días y 15 días asociada a deslizamientos históricos que formaban parte de los eventos con 3 o más deslizamientos en un período de 3 días, en Seattle por Chleborad (Fuente: Guzzetti et al, 2005, citado por Ramírez, 2010).

2.1.3 Modelos de capacidad del suelo de taludes por acción de las precipitaciones.

Las últimas líneas investigativas desarrolladas con respecto al estudio del frente húmedo, han tenido como objetivo unir el estudio de éste con la generación de deslizamientos de terreno. Esto debido a que se han elaborado teorías en el cual ocurre una pérdida de resistencia producto de las precipitaciones en la zona en donde se desarrolla el frente húmedo. El fundamento principal expuesto aquí es el eje principal de la investigación realizada para este Proyecto de Título.

A) Estudio de Rodríguez sobre influencia de la precipitación en la estabilidad de taludes.

Rodríguez (2004) estudió el efecto de las lluvias en la estabilidad de los taludes enfocándose en la estabilidad global. El análisis que se debe realizar para esto, se basa en la teoría de la resistencia al corte de los suelos descritos por Mohr-Coulomb en la siguiente ecuación

Ec. (5)

Donde:

τ : Resistencia al corte del suelo.

c' : Cohesión efectiva del suelo.

Φ' : Angulo de fricción del suelo.

σ : Tensión total en el plano de rotura.

$(s-u_w)$: Tensión efectiva en el plano de rotura.

u_w : Presión del agua.

Obs: La cohesión del suelo y el ángulo de fricción del suelo se obtienen con el ensayo de corte directo y el ensayo triaxial, respectivamente.

El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la infiltración del agua en la pérdida de la resistencia del esfuerzo de corte del suelo. Para esto se trabajó en un talud con características similares a los existentes a la zona de Sao Paulo (Brasil). Se utilizaron para el estudio tres diferentes tipos de suelo para realizar la comparación de su comportamiento. Para el análisis global de estabilidad de taludes se utilizó el método de Bishop (1955, citado por Rodríguez, 2004).

El estudio realizado por Rodríguez permitió concluir que, en la situación estudiada, las precipitaciones afectan el comportamiento global de los taludes para todos los tipos de suelo utilizados. La infiltración de las aguas lluvias genera variación del espesor del frente húmedo del terreno lo que provoca una disminución en la resistencia al corte del suelo. El análisis determinó además que las arenas tienden a disminuir a una mayor velocidad el factor de seguridad en comparación con una arena arcillosa (la presencia de finos provoca dicha variación).

B) Estudio de Taek Oh sobre influencia de la precipitación en la estabilidad de taludes.

Won Taek Oh (2010) realizó una investigación similar a la realizada por Rodríguez (2004), utilizando un solo tipo de suelo el cual fue analizado para distintas situaciones. Esto con el objeto de verificar la variación del factor de seguridad de estabilidad del talud para dicho terreno. La investigación fue realizada en el sector de Ontario (Canadá) y los casos que se analizaron consideraron el suelo en condición saturada, suelo con encharcamiento, suelo en estado natural (humedad inferior al punto de saturación) y suelo en estado no saturado (suelo con un largo plazo de no ocurrir precipitaciones).

Los resultados obtenidos por la investigación arrojaron que la acción de las precipitaciones genera una disminución del factor de seguridad del talud por pérdida de resistencia al corte del

suelo, un cambio en la línea de falla del suelo y una variación en la capacidad de infiltración del suelo al momento de producirse la precipitación, lo que provoca la generación de una lámina superficial de agua que se desplaza a lo largo del talud.

C) *Consideración de las experiencias sobre la capacidad del suelo.*

Las investigaciones recientemente descritas fueron realizadas de manera computacional, por lo que no existe un análisis de las consideraciones propias de una experiencia real que afectan la validez de la investigación. También se debe describir que los taludes modelados correspondían a suelos homogéneos, situación poco común en los taludes de campo.

2.1.4 *Definición de propuesta de estudio.*

Los estudios anteriores han investigado los fenómenos de manera independiente y para situaciones muy particulares al estar los resultados acotados al lugar de la realización de la investigación, situación vista principalmente para el caso de los umbrales empíricos. Además, los modelos no consideran características propias del terreno, situación observada en la determinación del espesor del frente húmedo. Para el caso de la investigación realizada por Rodríguez (2004) y por Won Taek Oh (2010), se abordó el comportamiento del talud considerando la mayor cantidad de variables propias del terreno. A pesar de esto, la información utilizada al ser modelada por computadora deja de lado detalles existentes en terreno que influyen dentro de las mediciones, por lo que un estudio de estas características debe llevar un análisis in situ y expuesto a las condiciones propias de la climatología del lugar del estudio. Es por esto que la investigación medirá la variación de la resistencia del suelo por efecto del agua infiltrada en un talud sometido a condiciones reales de precipitación. Para lograr medir la resistencia es necesario utilizar un equipo de campo, el cual cumpla con la característica de poseer la capacidad de ser intrusivo y a la vez no destructivo.

2.2 Principios de los Penetrómetros Dinámicos.

Actualmente, existe una amplia gama de equipos de ensayos para la exploración del suelo. Dichos instrumentos son utilizados dependiendo de los requerimientos que solicite el proyecto en desarrollo. Comúnmente en la ingeniería civil se utilizan principalmente los ensayos de tipo dinámicos, los cuales obtienen su energía mediante la aplicación de golpes para penetrar el suelo. Dentro de la gama de equipos de tipo dinámico, se pueden encontrar distintos equipos como los que se puede apreciar en la siguiente figura 4.

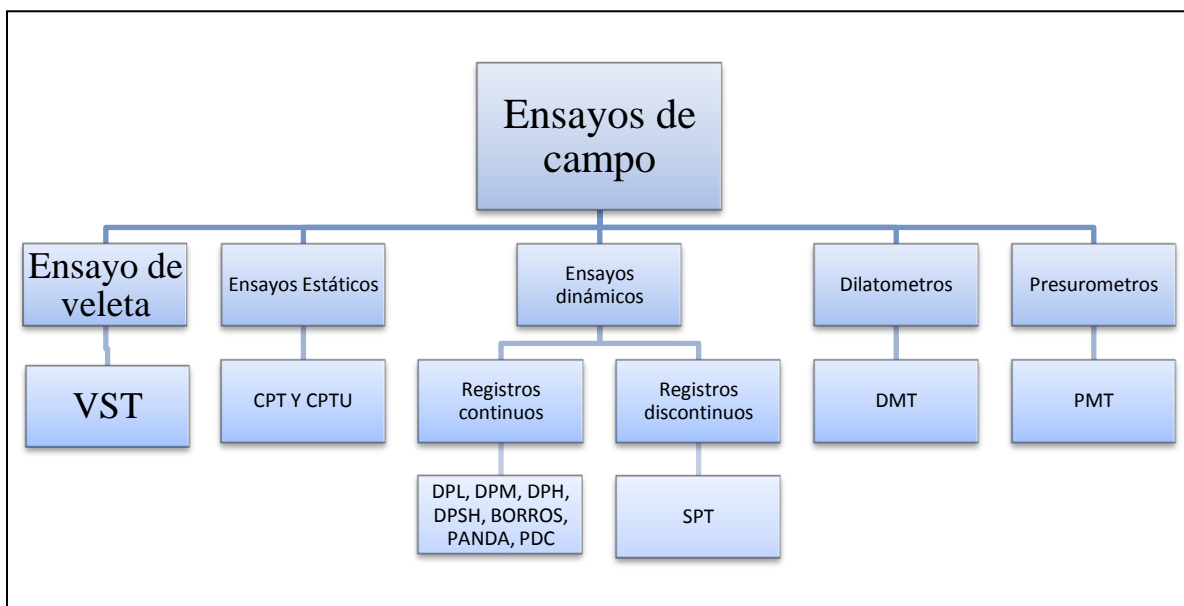


Figura 4: Clasificación de los ensayos de campo utilizados para estudios de suelo.

Debido a las características de la experiencia, sólo se enfocará una descripción del equipo DPL (Dynamic Penetrometer Light) el cual se usará para realizar las mediciones in situ.

2.2.1 Características generales del equipo DPL.

El equipo de sondaje DPL corresponde, como se detalló en la figura 4, a un ensayo del tipo “dinámico con registro continuo”, los cuales generan mediciones constantes de la resistencia del suelo a diferencia de los basados en registros discontinuos que miden la cantidad de golpes de modo intercalado (un tramo es medido y el siguiente no).

Los equipos pertenecientes a la categoría de ensayos dinámicos se basan en el supuesto el cual, la resistencia del terreno actúa sólo en la punta y no a lo largo de las barras metálicas que componen el equipo. Dicha resistencia, que produce el suelo en la punta del equipo de sondaje, se le conoce

como resistencia “Rd”. Las características generales del equipo se encuentran especificadas en la normativa ISO 22476-2:2005.

El sistema DPL se encuentra compuesto de los siguientes elementos (detalle de imágenes en anexo D):

Cono Dinámico: Pieza metálica cilíndrica de dimensiones estandarizadas, la cual está en contacto directo con el suelo, y se utiliza para medir la resistencia a la hinca del suelo

Martillo o Martinete: Pieza cilíndrica utilizada para generar la energía mecánica requerida para la hinca del cono. El martillo se utiliza gravitacionalmente.

Cabeza de golpeo o Yunque: Pieza que recibe el impacto del martillo cuando es utilizado y cuyo objetivo es transmitir la energía producida hacia la punta del cono dinámico

Varillaje: Barras metálicas las cuales transmiten la energía producida por el martillo hacia el cono. Las barras se conectan desde el yunque hacia el cono cilíndrico, poseen una longitud de un metro y líneas de referencia cada diez centímetros. Esto con el objeto de facilitar el registro de datos.

Placa base: Placa metálica que permite dar soporte a las componentes del equipo. Esto permite que los componentes se encuentren de manera vertical, cumpliendo lo especificado en la normativa vigente. La placa base permite la extracción de las barras de traspaso de carga luego de finalizado el sondaje.

Barra guía: Pieza unida al yunque que permite dar la altura de caída requerida por el martillo y a su vez guía en su caída libre hacia el yunque.

2.2.2 Fundamentos energéticos del equipo DPL.

Como se dijo anteriormente los ensayos dinámicos se basan en el supuesto que la resistencia del suelo ocurre en la punta del equipo, la resistencia a la hinca de las barras que genera el suelo se produce por acción del martillo golpeador, el cual obtiene su energía por acción gravitacional. El mecanismo para generar la energía del martillo, se encuentra especificada al igual que las características técnicas por la norma ISO 22476-2:2005. Las consideraciones se derivan de la ley

de conservación de energía para lo cual en el caso de estos equipos se consideran variables como resistencia del suelo, elasticidad de las barras de perforación y el procedimiento de hincado.

Para generar la energía el martillo debe dejarse caer desde una altura normalizada, poseyendo en ese momento sólo energía potencial cuya definición se describe de la siguiente manera:

Ec(6)

Siendo:

m: Masa del martillo

g: Aceleración de gravedad

H: Altura de caída.

v: Velocidad del martillo.

g: Aceleración de Gravedad.

Como fue descrito anteriormente, el martillo actúa gravitacionalmente por lo que al momento de soltar el martillo, éste sólo posee energía potencial. Sin embargo, al momento de caer la energía se transforma de energía potencial a energía cinética, siendo al momento del impacto con el yunque sólo energía cinética.

Físicamente, al momento de producirse el impacto ocurre transferencia de cantidad de movimiento entre el martillo y el yunque. Además, considerando las pérdidas por la deformación elástica que sufren las barras y que el martillo no sea obstaculizado antes del impacto, al momento de aplicar el balance de energía, se obtiene una ecuación modificada de la energía cinética que corresponde a:

Ec. (7)

Donde:

e: el avance en cm por golpe

m: Masa del martillo en Kg

m': Masa del yunque más la masa de las barras hasta la profundidad de la punta del cono en kg

Rd: Fuerza de resistencia por punta en kg

h: Altura de caída.

C: Cohesión del Suelo

N: Numero de golpes requeridos.

(Obs. $a = m' / m$)

Posteriormente, se despeja la fuerza resistente en la punta R_d , obteniendo:

$$\text{-----} \text{-----} \tag{Ec. (8)}$$

La normativa en su apéndice E, recomienda utilizar la fórmula aproximada creada por los holandeses. Esto debido a que es una relación válida para determinar la resistencia dinámica en ensayos del tipo dinámico. Para la fórmula de los holandeses se reemplaza $n=0$ y $c=0$ (esto debido a que se desprecia la fricción en la caída del martillo) lo que se tiene:

$$\text{-----} \tag{Ec. (9)}$$

Al reemplazar $a = m' / m$ y dividiendo R_d por el área de la punta del cono, se obtiene la fórmula recomendada de los holandeses, en la cual, q_d corresponde a la resistencia por unidad de área en la punta del cono y cuya fórmula final queda determinada de la siguiente manera:

$$\text{-----} \tag{Ec. (10)}$$

Donde:

q_d o q_c : Resistencia por punta, o fórmula de los Holandeses.

m : Masa del martillo

m' : Masa de las barras incluyendo la masa del yunque o cabeza de golpeo

e : Avance promedio en cm/golpe

A : Área basal del cono de perforación

h : Altura de caída.

El conocimiento del comportamiento energético del equipo DPL permite, adecuar su uso, de acuerdo a las condiciones existentes del terreno y a la investigación que se desee realizar.

CAPÍTULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Este capítulo se detallará el procedimiento experimental que se debe realizar para obtener los datos requeridos para el estudio (detalles gráficos en anexo J). Además se describirán los equipos complementarios que son requeridos para la realización del muestreo. Dichos equipos permitirán medir información complementaria y de carácter informativo a la investigación o que permitirán la realización del ensayo propiamente tal.

Como se ha descrito anteriormente, la investigación medirá la variación de la resistencia del suelo mediante la utilización de un equipo de campo. Para esto se pretende comparar la resistencia inicial del suelo y cómo ésta varía a medida que aumenta la precipitación acumulada.

La toma de los datos se realizó en el Laboratorio de Geotecnia y Medio Ambiente (LAGEMA), perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Bío Bío (UBB) (Detalles del lugar de trabajo en anexos C). LAGEMA posee las características del suelo existentes en el Batolito Costero y las condiciones climatológicas existentes en el lugar son las representativas de la ciudad de Concepción (detalles en anexo A y B).

Considerando los criterios considerados en el capítulo anterior se utilizará el Penetrómetro Ligeró Dinámico (DPL) el cual se diferencia de otros equipos por su fácil traslado. Considerando que el equipo de campo no está diseñado para operar directamente sobre la pendiente de un talud, deberá realizarse adaptarse para las condiciones de pendiente, situación que es descrita en los siguientes ítems.

3.1 Habilitación del lugar de muestreo.

Debido a que el talud en estudio no se encontraba en condiciones óptimas para realizar el estudio (situación explicada en los anexos), se requirió reperfilear las paredes del talud para obtener una pendiente con una mayor regularidad. Para generar la nueva pendiente del talud, fue necesario depositar material en el pie del mismo y realizar corte de material en los niveles superiores.

Durante el proceso de reperfileado del talud a utilizar se debe realizar un trabajo de compactación con el objetivo de igualar las características del suelo introducido con el suelo que se encontraba originalmente, evitando la variación de la resistencia del suelo al momento de realizar el ensayo de campo.

3.2 Toma de muestras para análisis de suelo en laboratorio.

Previo a realizar cualquier ensayo de campo se debe realizar una caracterización del suelo presente en el lugar. Para esto debe realizarse como mínimo granulometría (detalles en anexo H), densidad in situ y límites de Atterberg. Con los ensayos realizados se obtuvo la clasificación del suelo además de una clasificación visual a nivel de capas superficiales. Además, se realizó un ensayo de infiltración del tipo PORCHET al comienzo del muestreo y al término de éste, con el fin de medir la variación del índice durante el periodo de estudio.

Considerando que la zona de trabajo ha sido previamente ensayado, se verificará si los estudios realizados recientemente son similares a los resultados de los ensayos antiguos. Esto con el objeto de utilizar dichos resultados en la caracterización del lugar de muestreo.

3.3 Demarcación de lugares de muestreo.

Se debe realizar una demarcación de tramos verticales, con el objeto de facilitar la toma de muestras. La delimitación se realizó clavando estas unidas con cuerda para facilitar su identificación visual. Las estacas están separadas de manera horizontal aproximadamente a un metro y separadas verticalmente a ochenta centímetros (detalle de la demarcación en anexo J).



Figura 5: Demarcación del terreno y sectores de muestreo.

3.4 Construcción de equipos complementarios.

Debido a que el equipo DPL debe poseer una plataforma horizontal, se diseñó y construyó (planos en anexo D) una plataforma de estructura metálica, la cual se superpone sobre una escalera telescópica generando con esto una superficie horizontal que permitirá la toma de datos. Al poseer el talud una pendiente que no es regular, la plataforma se diseñó con un sistema de ajuste de alturas. Esto con el propósito de variar sus dimensiones para así ajustarse a cualquier pendiente que posea el talud.

Como se deseó medir la influencia de la precipitación acumulada en el talud en estudio, se construyó un pluviómetro con el objetivo de medir la precipitación ocurrida en el lugar de trabajo. Los registros de precipitación acumulados, serán comparados por la estación más cercana de la Dirección General de Aguas (DGA), la cual corresponde a la estación “estero Nonguen, costado UBB”.

3.5 Realización de ensayo de golpes con equipo de campo.

Se propone la realización de los ensayos posterior a eventos relevantes de precipitación y sujeto a la disponibilidad de equipos.

Los ensayos con el equipo DPL en cada uno de los tramos demarcado anteriormente se compondrá de cinco sondajes por tramo, con lo que se construye el perfil para la situación en particular. Sin embargo, se realiza el sondaje de prueba para verificar si el terreno permite realizar una toma de muestra clara, es decir, se requiera una cantidad de golpes mínima. Esto con el objeto de obtener resultados claros al momento del análisis. Si lo anterior no se logra, se disminuirá la altura de caída con el fin de disminuir la energía que se le entrega al cono dinámico para lograr penetrar el suelo y así lograr una medición clara (la descripción de las propiedades energéticas del equipo DPL en capítulo II). Para la situación observada en la experiencia práctica se decidió disminuir la altura de caída del martillo golpeador a sólo un 50% de la altura total lo que se obtiene una disminución de 49 J a solo 25 J, esto permitió aumentar el número de golpes y de esta manera obtener una mayor sensibilidad en el muestreo.

Se realizó solo un sondaje por zona demarcada, para evitar que la existencia de la perforación de un sondaje anterior afecte los resultados del punto en estudio. Conocida las características propias de la geometría del talud, se determinó además que solo se ensayaría en la zona con una mayor

uniformidad de pendiente ocurriendo un cambio brusco de la pendiente en la zona superior a esta. La decisión tomada se debe a complicaciones al momento de realizar el estudio (complicaciones de carácter técnicas con el uso del equipo de sondaje). El tramo con mayor uniformidad posee cuatro metros de longitud por lo que permite generar cinco puntos para realizar el muestreo.

3.6 Elaboración del perfil de la zona muestreada.

Finalizada la medición, los datos deben ser analizados con el objeto de determinar el punto al cual llega el perfil, para eso se deberá buscar idealmente el punto en el cual la resistencia del equipo varía drásticamente. Determinado los puntos de cambio, se genera un gráfico con el objeto de modelar el perfil con los puntos de cambio determinados anteriormente.

3.7 Observación sobre seguridad en la realización de la experiencia.

Debido a que las condiciones del terreno y la modificación del uso del equipo de sondaje (diseñado para operar en la superficie y no sobre una escalera con suelo con pendiente), es obligatorio el uso de medidas de seguridad para la realización de la experiencia (el detalle del equipamiento utilizado en las mediciones, se encuentra en anexo E).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA EXPERIENCIA.

El presente capítulo enumerará los resultados obtenidos en los distintos ítems descritos en el capítulo anterior correspondientes a la etapa experimental. En algunos casos la información entregada no poseerá una directa relación con el ensayo mismo a realizar; sin embargo, es necesario describirlo, con el fin de caracterizar de manera más detallada la morfología del suelo utilizado para la experiencia.

4.1 Ensayos de Mecánica de Suelos.

A continuación, se presentará la caracterización del suelo existente en la zona de trabajo, se presentara en primer lugar la información obtenida por los ensayos propios presentándose a continuación la información validada para este estudio.

En este punto se describirá el índice de infiltración del suelo y se explicara los resultados obtenidos.

4.1.1 Variables medidas.

Realizado el análisis de la muestra uno (detalles de la medición en el anexo H) se observó que para las muestras utilizadas, los límites de Atterberg son los siguientes:

Tabla 1: Límites de Atterberg para muestras del talud.

Muestra	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)
1 (Pie del talud)	38,96	No presenta
2 (Pie del talud)	41,69	No Presenta

Para el suelo analizado, la clasificación del suelo mediante los métodos USCS y AASHTO fueron los siguientes:

Clasificación según USCS: SM

Clasificación según AASHTO: A-2-6

Se adjuntarán dos coeficientes de infiltración con el objeto de presentar la variación de la capacidad de absorción de agua por parte del suelo por acción de la precipitación acumulada. Los valores obtenidos (detalles en anexo H) son los siguientes:

Ensayo al principio del estudio (realizado el 28/04/2011)
Tasa de infiltración: 307,28 mm/hr

Ensayo al término del estudio (realizado el 17/09/2011)
Infiltración final: 36,85 mm/hr

La variación del índice de infiltración provoca una disminución de la capacidad para infiltrar agua por parte del suelo. Si el valor del índice de infiltración disminuye durante las estaciones del año, la humedad existente en el suelo también sufrirá variaciones, por lo que las condiciones de infiltración del suelo no se pueden generalizar.

4.1.2 Variables obtenidas de otros estudios.

Densidad del terreno.

De mediciones anteriores (Riveros, 2003), se determinó que la densidad total que posee el suelo en la zona de muestreo alcanza $1,66 \text{ ton/m}^3$. Del mismo modo se determinó que para el caso de la densidad seca, el suelo posee una densidad de $1,44 \text{ ton/m}^3$.

Compactación del terreno.

Al ser sometido el suelo a compactación es necesario obtener la información de la densidad compactada y la humedad requerida, los cuales, proporcionan un valor referencial y se observan en la figura 6.

Según lo visto en la figura 6 la máxima densidad que es posible puede alcanzar para este tipo de suelo corresponde a 1758 kg/m^3 con una humedad óptima de 15,2 %.

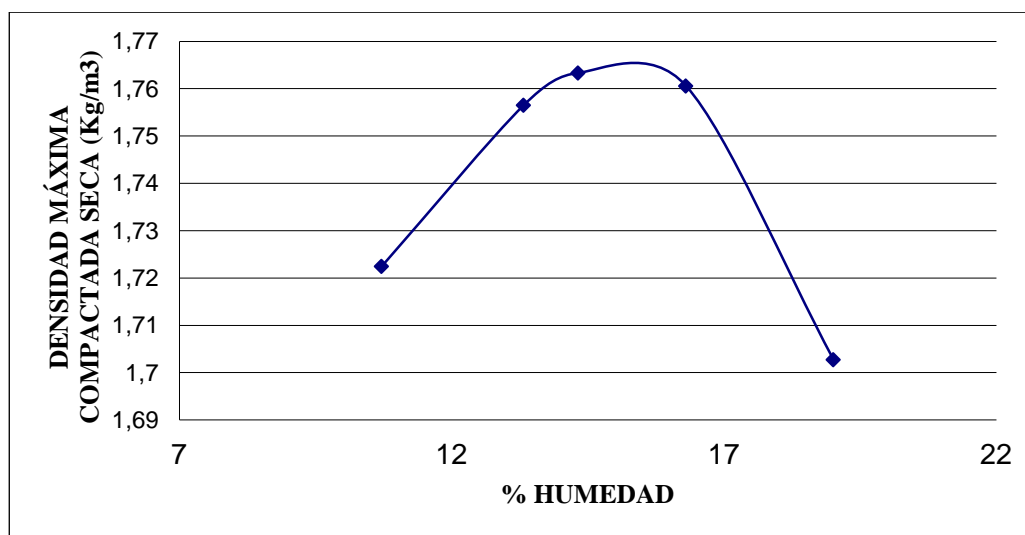


Figura 6: Densidad máxima compactada seca según humedad óptima. (Fuente: Manzo, 2010).

Para las condiciones observadas en terreno, se considerará el suelo en estado natural, con lo cual se obtuvo que el valor de la densidad compactada seca alcanza a los de 1321 kg/m^3 , que corresponde a un 75% de la DMCS.

Ángulo de fricción y cohesión del terreno.

La obtención de los parámetros de resistencia al corte del suelo fueron realizados por Riveros (2003). Para esto, se realizó un ensayo del tipo triaxial, en donde se utilizó un suelo en condición de consolidado-drenado.

Los resultados obtenidos por el ensayo triaxial, arrojaron que la Cohesión del suelo alcanzó los $1,5 \text{ ton/m}^2$, mientras que el ángulo de fricción que posee el suelo es de 28° .

Como observación general de los datos, las muestras utilizadas en el ensayo triaxial, fueron extraídas en el mismo lugar donde realizaron los sondeos para este proyecto.

4.2 Precipitación Acumulada Medida.

Para la realización del estudio, se mantuvo un registro permanente del agua precipitada en el área de trabajo utilizando un pluviómetro en el sector. Las mediciones realizadas (se consideran en esta sección sólo la información obtenida por el pluviómetro propio), se ven detalladas en la tabla 2 (detalle completo de la medición y comparación con los datos de la DGA en anexo G).

Tabla 2: Precipitación acumulada al momento de realizado los sondeos.

Área embudo (mm ²)	34636,1		
Día de medición	Hora medición	Precipitación acumulada (mm.) (medidos hasta la fecha del sondeo)	Detalle
Jueves 18 de Agosto	12:00	614,7	Fecha de sondeo 1
martes 30 de Agosto	11:30	689,8	Fecha de sondeo 2
Jueves 15 de Septiembre	11:30	737,0	Fecha de sondeo 3
Viernes 16 de Septiembre	11:15	759,0	Fecha de sondeo 3
Precipitación acumulada total medida (mm)			759,0

4.3 Resultado de Sondeos.

A continuación, se describen mediante gráficos los resultados obtenidos del estudio del suelo utilizando el equipo de campo DPL, los cuales corresponden a las mediciones de los ensayos de golpes realizados para cada punto. La información recogida con el equipo de campo será comparado con los resultados para el mismo punto pero distinto sondeo. Con la información básica presentada en los gráficos anteriores, se realiza el perfil de resistencia del talud, el cual, será presentado en el mismo formato con el objeto de realizar un análisis claro.

4.3.1 Resultado de los sondeos realizados por punto.

Con el objeto de detallar al lector de manera clara los estudios, se entregarán en cada gráfico los resultados de todos los sondeos realizados para el punto en particular (las tablas con los valores detallados de los sondeos se encuentran en anexo I).

A) Resultados de sondajes para punto 1.

El punto 1 se encuentra ubicado en el pie del talud (figura 7), recibiendo al momento de generarse precipitaciones el material que se erosiona desde la zona superior del talud. El arrastre de material producto de las precipitaciones provoca que el suelo superficial ubicado en ese sector se encuentre a una menor densidad de la existente en la zona superior. La situación producida por el depósito de material permite una mayor infiltración que en la zona superior, recibiendo además la descarga de agua de las zonas superiores del perfil del talud producto de la escorrentía superficial.

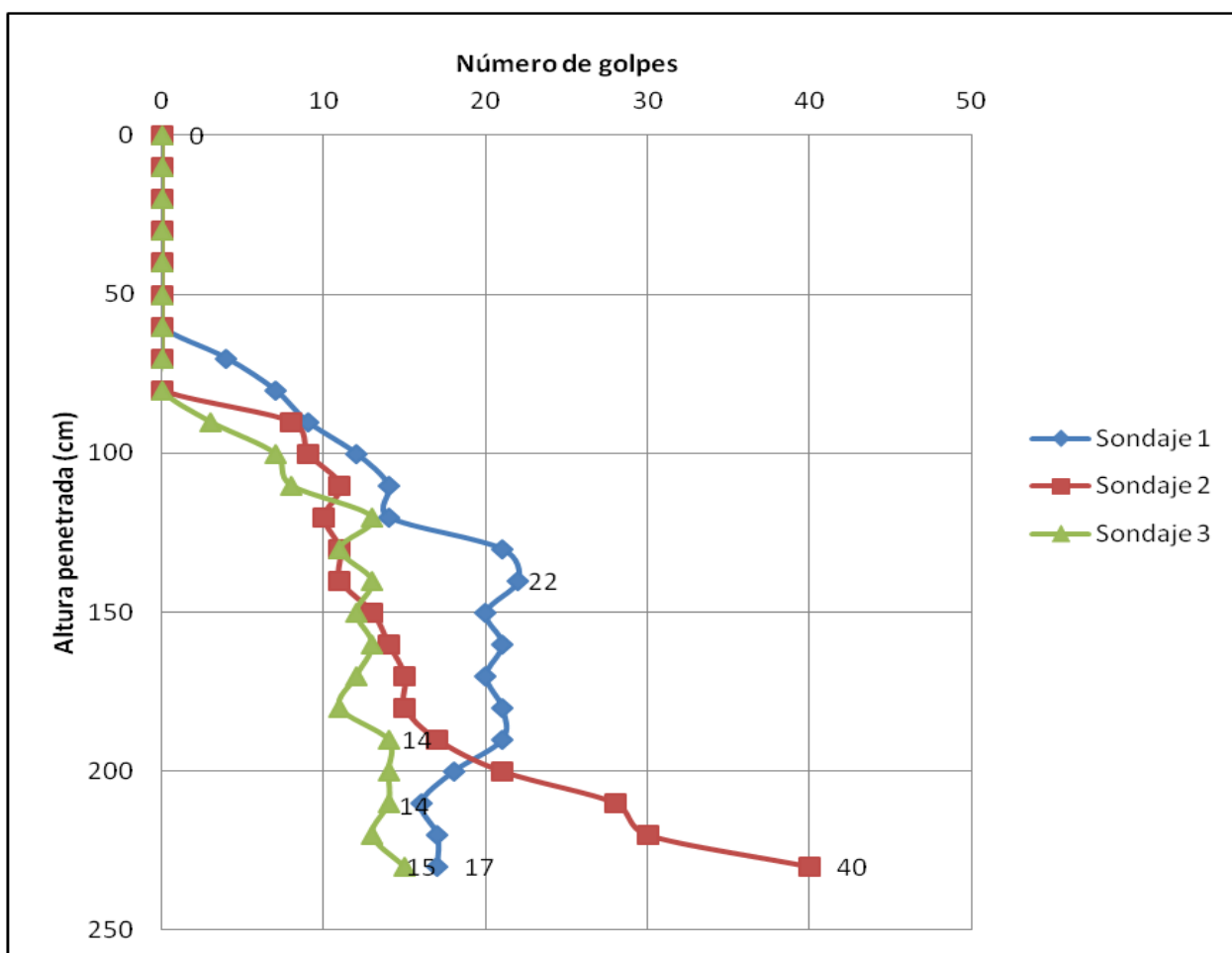


Figura 7: Resultado de sondajes realizados en el punto 1.

B) Resultados de sondajes para punto 2.

La capacidad del suelo para resistir la carga generada por el peso propio de la barra, varía de gran manera en comparación con el punto uno. Esto puede tener relación debido a que para este caso no se genera depósito de material proveniente de zonas superiores, manteniendo la densidad del suelo sin grandes variaciones. Es por ello que la variación de la penetración del DPL sin realizar golpes se presenta con una mayor diferencia, ya que en este punto sólo le afecta la precipitación acumulada y no la acumulación de los relaves del material erodado, provocando que el agua genere grandes variaciones en la resistencia, mientras que el punto 1 el agua se acumula en la zona con menor densidad, provocando que la penetración sea mayor producto de los relaves, pero la penetración en la zona con mayor densidad menor que para este caso.

En el gráfico representativo del sondaje 2 se observa una particularidad, esto se debe a que la cantidad de golpes aumenta drásticamente en comparación a los sondajes 1 y 3. La causa de esto es la existencia de material rocoso, siendo esto observado en la cota 230, ya que a pesar de que en el caso del sondaje 2 los golpes aumentan en una mayor proporción, al alcanzar los otros muestreos la cota descrita anteriormente, la cantidad de golpes que se requiere es muy similar, lo que puede deducir que el suelo tiene un comportamiento similar a esa profundidad.

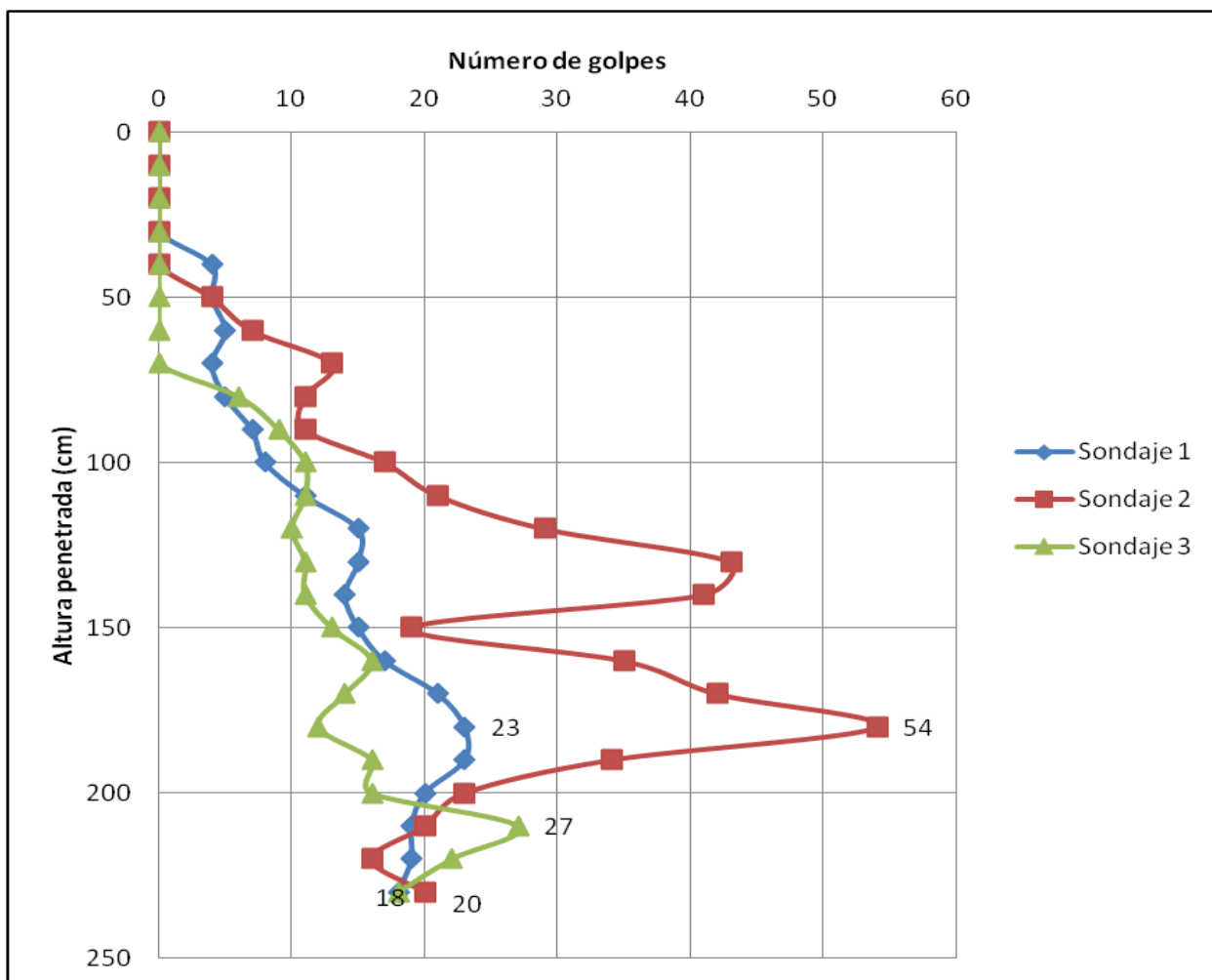


Figura 8: Resultado de sondajes realizados en el punto 2.

C) Resultados de sondajes para punto 3.

El ensayo realizado para el sondaje 3 se efectuó con una precipitación acumulada menor que para el punto 1 y 2 (los muestreos uno y dos del sondaje 3 se realizaron al día siguiente, ocurriendo un evento de precipitación esa noche). Es por esto que el suelo sufre un proceso de recuperación (pérdida de humedad) que para este caso al momento de realizar el sondaje no se observó que el suelo se viera afectado por una disminución de la altura del frente húmedo, esto se puede deber a que para el caso observado, la capacidad de recuperación no es lo suficientemente rápida por lo que al momento de realizado el sondaje el suelo no había alcanzado el nivel de frente húmedo existente para el sondaje anterior. De los datos recogidos con los sondajes se observaron variaciones en el caso del sondaje dos. Esto se debió a la existencia de zonas en el suelo con estratos rocosos los cuales aumentaban la resistencia del suelo. Sin embargo y al igual que para el

caso 2, los valores poseen una curva de tendencia similar, por lo que se deduce que el suelo posee un mismo comportamiento.

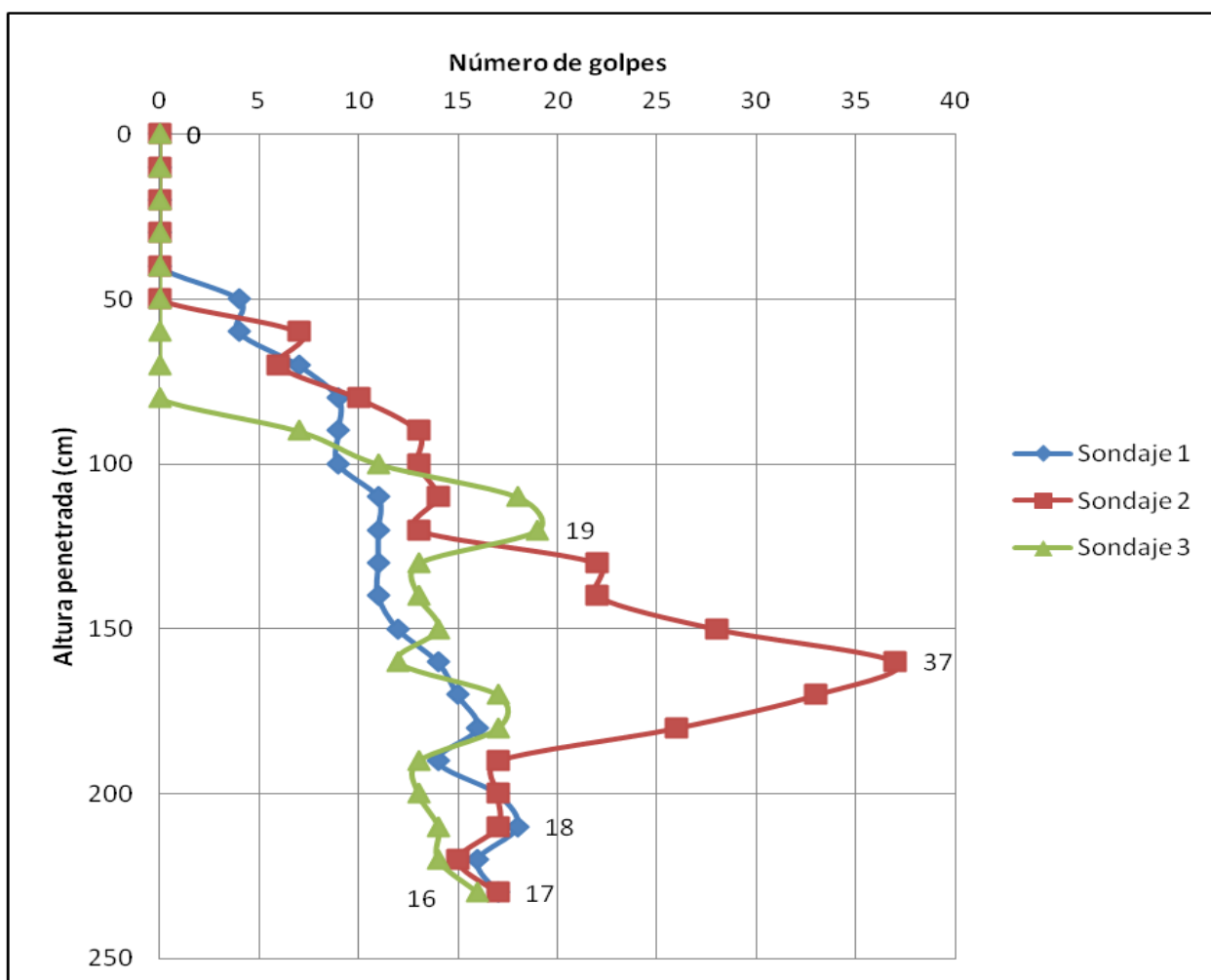


Figura 9: Resultado de sondajes realizados en el punto 3

D) Resultados de sondajes para punto 4.

A diferencia de lo observado en otros puntos, la variación de la resistencia superficial del suelo a la hincada de las varillas no es tan clara, ya que se ve una disminución de solo 10 cm. Ello se puede producir porque en terreno se observó que dicha zona del talud poseía una distinta coloración, que puede haber significado la presencia de otra composición de suelo que influye en la capacidad de resistencia del suelo a la hincada. Además para este caso, la variación de las curvas de los sondajes son similares, en gran parte del tramo medido, lo que deduce que el suelo posee un comportamiento similar en toda la superficie demarcada, sin embargo, la variación del sondaje 1

se puede deber a la existencia de raíces y material vegetal que se encontraba en la zona del estudio.

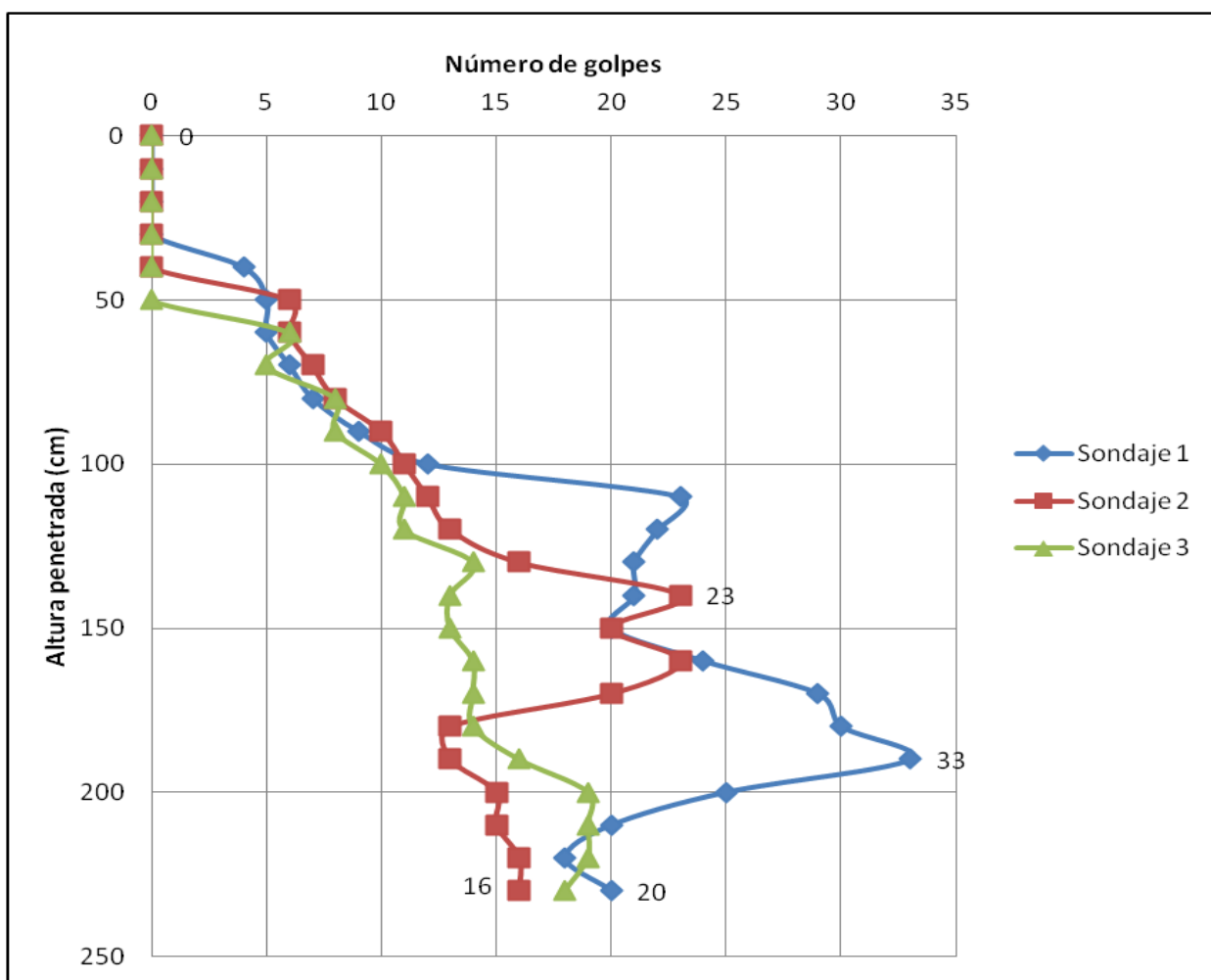


Figura 10: Resultado de sondajes realizados en el punto 4

E) Resultados de sondajes para punto 5.

El punto cinco presenta la particularidad de ser el único lugar muestreado, en el cual no se observó una variación en un gran orden de magnitud a la penetración inicial de las varillas del DPL ocurrido en el caso del sondaje uno y dos que alcanzo solo 10 cm. Esto se puede deber a lo descrito en el sondaje 4, ya que al igual que en el punto anterior, el suelo presenta un cambio de coloración, lo que puede indicar un suelo de distinta categoría, lo que impedía una mayor cantidad de infiltración, por lo que la pérdida de capacidad era menor que para los otros casos, generándose en este caso una recuperación a un mayor ritmo que para los otros puntos

muestreados. Otro factor que puede influenciar en estos datos es la presencia de un cambio brusco de pendiente en el talud a escasos centímetros sobre la zona de trabajo, el cual puede provocar un cambio de velocidad de la circulación del agua superficial, generando que por esta causa el agua no lograra infiltrarse por completo. Al momento de analizar el desarrollo visto en los gráficos de los sondajes, es posible observar que el comportamiento del suelo es similar para los tres ensayos en la totalidad del estudio, por lo que al igual que los otros puntos analizados, se puede concluir que el suelo posee un comportamiento similar en las tres franjas muestreadas.

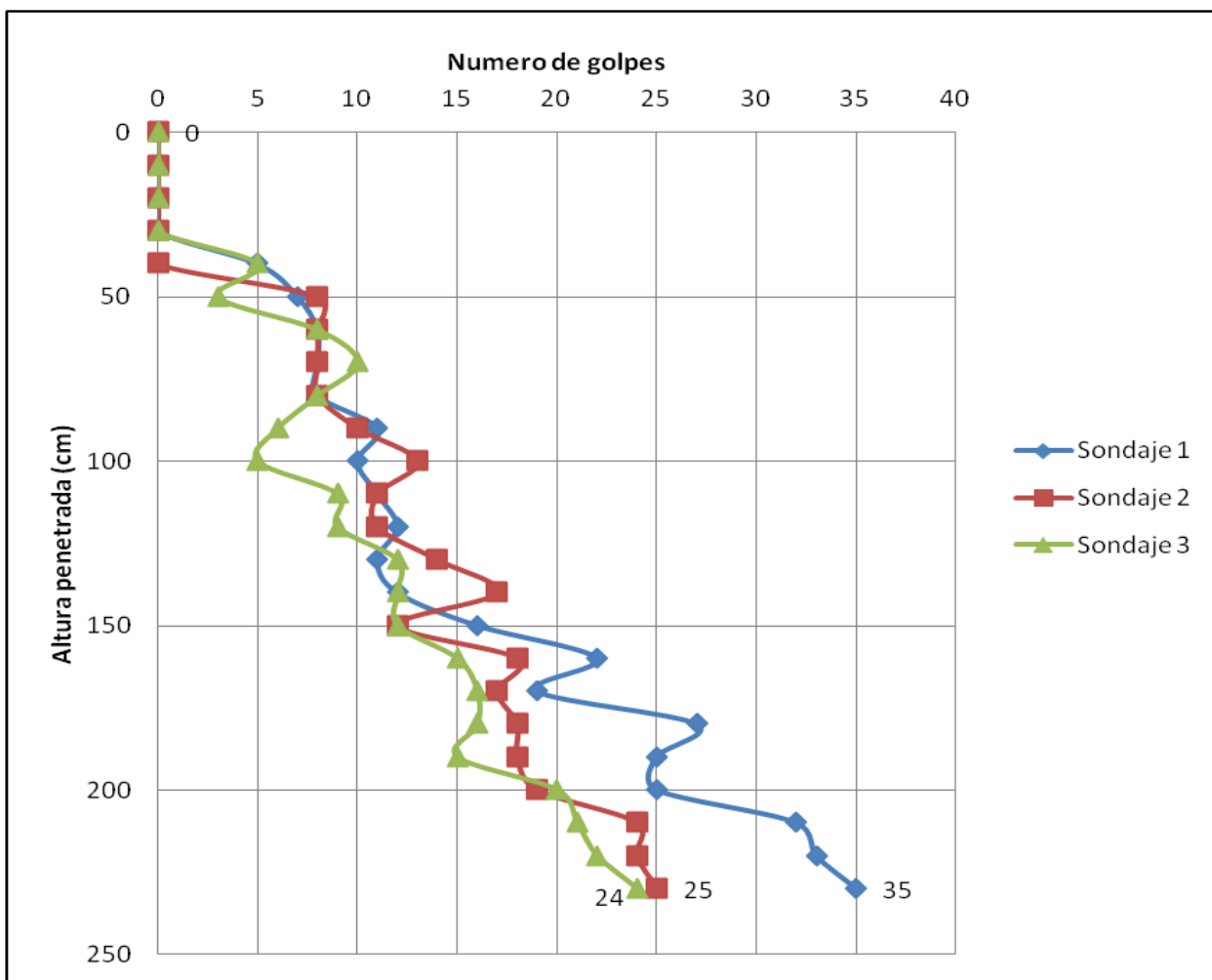


Figura 11: Resultado de sondajes realizados en el punto 5

4.3.2 Perfiles de resistencia del terreno estimada con Sondajes.

Con los resultados de los sondajes se observó que existe un comportamiento regular en la penetración inicial de la barra (el tramo inicial que no requiere golpes). Al analizar esto, y considerando los conceptos del efecto del agua en el suelo, se determinó esta zona del suelo como un tramo crítico, por lo cual se toma sólo hasta esa zona como punto de falla. Con los datos discriminados, se generó un perfil crítico el cual se describe en la figura 12 que muestra los perfiles generados de los otros sondajes.

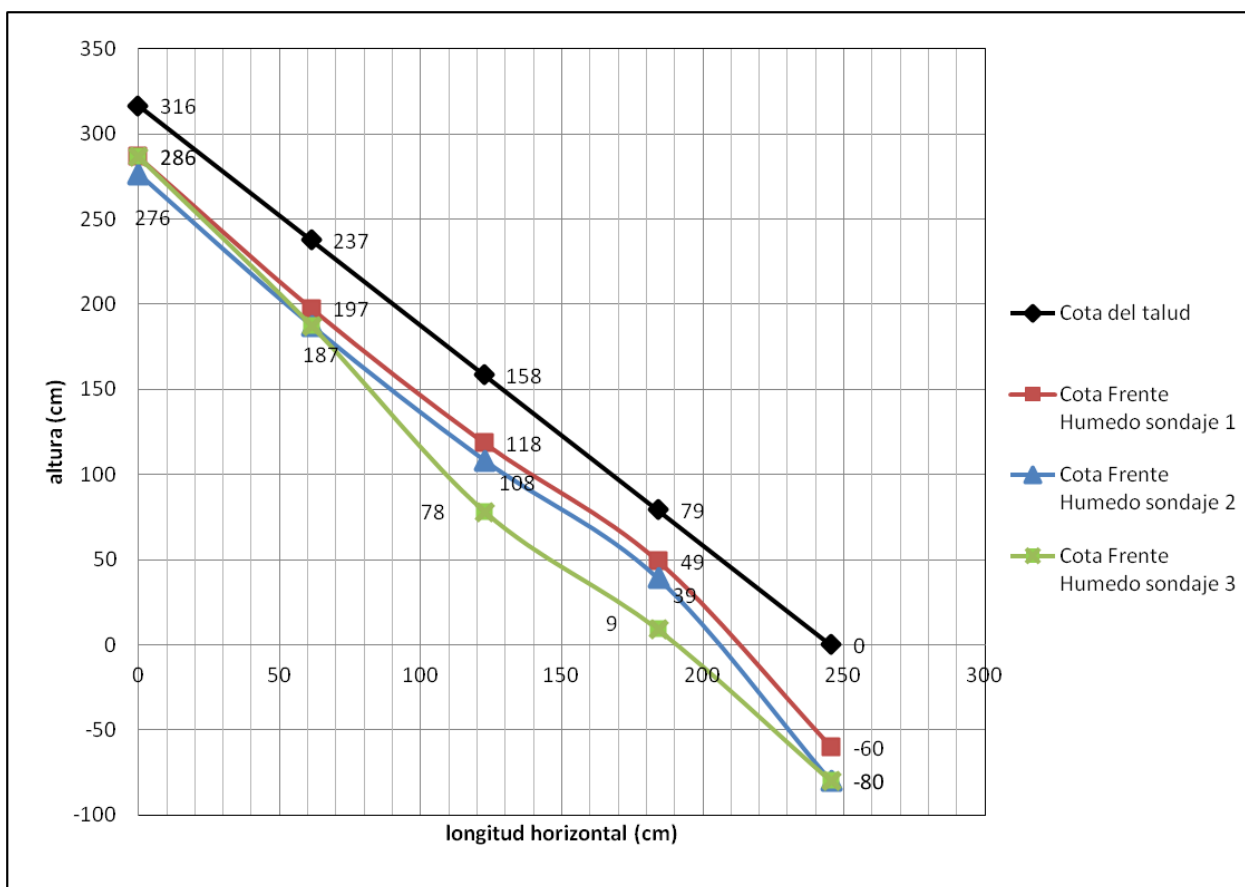


Figura 12: Resultados de la variación de resistencia del suelo a sondajes mostrado por perfiles.

Al momento de realizar los perfiles que representan la variación de la resistencia del suelo del talud, se observa que la precipitación acumulada generó un aumento del espesor del perfil para todos los casos, a pesar del caso detallado anteriormente de los puntos 4 y 5 del sondaje 3, los cuales se describen en el punto anterior. Se observa además que el aumento del espesor de frente húmedo se produce de manera completa y no dependiendo del punto que se estudia. Sin embargo, la geometría que presenta el perfil de resistencia no es regular sino que es variable. La forma

irregular que posee el perfil de resistencia, se ve afectado por la presencia de material rocoso, raíces de la vegetación existente en la zona del estudio y por la composición del suelo el cual es fundamental; esto se debe a que la composición del terreno influye en la capacidad de absorción de agua que poseerá el talud. Dicho efecto de los elementos presentes se ve reflejado al realizar una línea de tendencia para cada uno de los sondajes, observándose que el comportamiento del punto 2 (el punto donde existe el mayor número de golpes para el muestreo 2) es el que posee una mayor dispersión en comparación con los otros puntos alcanzado en promedio los 12 cm de diferencia entre el punto muestreado y la recta de la línea de tendencia.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El capítulo presentado a continuación, entrega al lector las conclusiones obtenidas de la realización de la metodología de trabajo y los resultados del sondeo con el equipo de campo realizado en el talud. Las conclusiones se presentaran en dos títulos con el objeto de diferenciar los puntos descritos anteriormente. Finalmente al término del capítulo se presentarán recomendaciones para nuevas líneas de investigación de futuros proyectos de título a realizar.

5.1 Conclusiones Sobre la Factibilidad del Ensayo.

Alcanzado el desarrollo completo de los sondeos, se concluye que la metodología planteada es válida y factible de realizar en cualquier talud de la zona descrita en este proyecto. Además, el procedimiento efectuado permitió ratificar el supuesto que un equipo de sondeos puede ser adaptado para las condiciones propias de un talud utilizando para este caso el equipo de sondeo DPL.

Al momento de realizar los sondeos en el talud en estudio, se observaron situaciones que afectan su ejecución, a las cuales se debe prestar atención si se desea replicar la experiencia con este sistema de sondeo. Dentro de las consideraciones a tomar se encuentran las características del terreno y las características técnicas de los implementos a utilizar.

5.2 Conclusiones Sobre Los Resultado Obtenidos en Muestreo.

Del resultado obtenido por la experiencia se concluye lo siguiente:

- La precipitación acumulada afecta la resistencia mecánica del suelo del talud en estudio. Esto se logró determinar ya que en todos los puntos muestreados, existieron aumentos en la cantidad de golpes que se realizaron para cada uno de los sondeos. Esta disminución en la resistencia permitió demostrar la factibilidad de utilizar el equipo DPL para la medición del índice de penetración del suelo en pendiente.
- La existencia de perturbaciones en los gráficos permitió demostrar que la existencia de elementos en el suelo pueden generar cambios en el comportamiento de éste, por lo que un ensayo de estas características es fundamental a la hora de contextualizar el suelo en

estudio. Sin embargo, la presencia de estos elementos no generan un cambio en el tipo de suelo del talud en estudio, sino que sólo en el punto particular muestreado.

- En época invernal el suelo no alcanzó a recuperar el estado inicial de humedad, situación que se observó principalmente entre las mediciones 2 y 3, lo que generó un remanente de humedad en el suelo, lo cual lleva a concluir que este fenómeno en algunas circunstancias puede acelerar el proceso de un deslizamiento de terreno a pesar que las precipitaciones sean menores que las requeridas para generar un deslizamiento de suelo.
- Se observó que el suelo sufre un proceso de pérdida de capacidad de infiltración siendo determinado al realizarse el ensayo PORCHET al principio y término del estudio. La variación de la capacidad del suelo de absorber agua, es una variable a considerar al momento de analizar los resultados, esto se debe a que la capacidad de campo del suelo variará con las estaciones del año por lo que se transforma en una variable a considerar, quedando condicionada además al régimen de lluvias ocurrido durante el año.
- El análisis del índice de infiltración del agua sólo es posible de realizar a los pies del talud, por lo que para esta investigación no es posible conocer la variación del índice de infiltración en la zona alta del talud, generado la imposibilidad de determinar si existía una variación con respecto al pie del talud del índice de infiltración.
- Realizado los sondajes, se concluye que las condiciones existentes en terreno condicionan el comportamiento del suelo que se observa en el perfil de resistencia del suelo que no es regular, aunque mantiene las condiciones generales del suelo en estudio. Esta observación condiciona los resultados de los modelos computacionales, los cuales consideran un suelo uniforme, por lo que es necesario optimizar los modelos, con el objeto de permitir el ingreso de variables como las vistas en la realización del sondaje, esto con el objeto de permitir un menor rango de error entre lo observado in situ y lo planteado por el modelo.

5.3 Observaciones Sobre la Factibilidad del Ensayo.

Al momento de realizar los muestreos, se observaron algunos detalles en las características del ensayo y los componentes utilizados por lo que se enumerará alguno de ellos para mejorar la realización de la experiencia en futuras investigaciones, dichas observaciones son las siguientes:

- La superficie del talud debe ser uniforme y no poseer cambios de pendiente bruscos y de una vasta extensión, esto debido que impide crear una superficie estable para la escalera.
- La materialidad de la escalera utilizada correspondía a aluminio, el cual poseía la restricción de poseer una excesiva flexión al ser utilizada, lo que provocó inconvenientes al momento de la extracción de las barras de traspaso de carga del equipo DPL. La solución planteada para este caso consiste en la utilización de una escalera del mismo material pero con perfiles que permitan una mayor rigidez, utilizar una escalera con distinta materialidad o que se encuentre completamente apoyada en la pared del talud (situación por lo que se recomienda el ítem anterior).
- El sistema con el cual se modifica las dimensiones de la plataforma, debe ser perfeccionado, esto debido a que no permite un rango bajo de modificación, sólo permite variaciones puntuales al estar basado en los puntos fijos de las perforaciones de ajuste.
- Realizada la modificación de la altura de caída del martillo, se obtiene una mayor sensibilidad en los resultados, lo que permite un análisis claro del comportamiento del suelo, Es por esto que se sugiere ajustar previamente a la toma de muestra la altura a utilizar, considerando que el comportamiento del suelo no es similar debido a la diferencia en densidades y presencia de singularidades en el lugar.
- Para obtener un detalle más exacto del registro pluviométrico, es recomendable utilizar un pluviómetro con una mayor exactitud en el registro de las precipitaciones. Sin embargo se observa que la información aportada por la estación perteneciente a la DGA, es válida para las precipitaciones ocurridas en el sector de LAGEMA. A pesar de la validez de los datos de la estación de DGA, se recomienda poseer una estación

pluviométrica en la zona de medición, debido a que la información de la estación de DGA sufre perturbaciones en los datos cuando existen fallos en el suministro eléctrico.

5.4 Recomendación de Nuevas Investigaciones.

La realización de esta experiencia permitió observar que el campo de investigación de todo lo relacionado con el efecto de las precipitaciones en la variación de la resistencia superficial de taludes es muy extenso, por lo que se recomienda continuar con la investigación. Dentro de las líneas recomendadas por el autor se pueden observar algunos de los siguientes ítems.

- Continuar la línea investigativa de los ensayos de campo, pero diversificando la situación base del terreno a utilizar (considerar coberturas vegetales, sistema natural de protección de taludes, presencia de material granular en la superficie, etc.).
- Mejorar la implementación del equipo de campo para la realización de la toma de las muestras, adecuando de este modo el equipo para que se adapte mejor a las condiciones que poseen los taludes.
- Relacionar la investigación realizadas del frente húmedo en LAGEMA con esta investigación para verificar la relación entre las variables consideradas de manera individual.
- Desarrollar una metodología y procedimiento el cual permita obtener y comparar la capacidad de infiltración de un talud en cualquier zona de éste y no solo en el pie del talud; Situación que se da en la actualidad al utilizar métodos tradicionales en la medición de la infiltración del suelo. El ensayo debe cumplir además de poseer ciertas características siendo algunas las siguientes: debe ser un ensayo de fácil realización, de rápida implementación y poseer característica de portabilidad para su operación frente a cualquier condición climática y de temperatura.

BIBLIOGRAFÍA.

ALARCON, Juan C. Correlación entre índices de golpes N10 y N30 obtenidos de la aplicación del DPL y SPT en arenas de las comunas de Concepción y Hualpén. Proyecto de título (Título Ingeniero Civil). Concepción, Chile. Universidad Del Bío- Bío, Depto. De Ingeniería Civil, 2011. 105 p.

BRAJA, Das M. Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta Edición 1999, International Thompson Editores, 2001. 862p.

CHEN, L., and Young, M., Green-Ampt infiltration model for sloping surfaces. Water Resource. 42(10), 2-3, Julio 2006. 9 p.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, ISO 22476-2(2005). Geotechnical investigation and testing- Field testing. First edition. 30 p.

JIMÉNEZ, José. Recubrimiento de taludes de fácil erosión en la autopista del Itata. Proyecto de título (Título Ingeniero Civil). Concepción, Chile. Universidad Del Bío- Bío, Depto. De Ingeniería Civil, 2002. 147 p.

MANZO, Juan. Diseño de una experiencia para determinar la erodabilidad del un suelo. Proyecto de título (Título Ingeniero Civil). Concepción, Chile. Universidad Del Bío- Bío, Depto. De Ingeniería Civil, 2010.

RAMIREZ, Suhelen. Estudio de La relación lluvia- deslizamiento en la estabilidad de taludes. Proyecto de título (Título Ingeniero Civil). Concepción, Chile. Universidad Del Bío- Bío, Depto. De Ingeniería Civil, 2010. 122 p.

RIVEROS, Ricardo. Implementación y optimización de sistema de recubrimiento económico, no tradicional, para taludes de la VIII Región. Proyecto de título (Título Ingeniero Civil). Concepción, Chile. Universidad Del Bío- Bío, Depto. De Ingeniería Civil, 2003. 135 p.

RODRÍGUES, Dos santos, Claudio. Análise Paramétrica da Infiltração e Sua Influencia Na Estabilidade de Taludes Em Solo Não Saturado, Tesis (Magister en Geotecnia), Sao Paulo, Brasil, Universidad Federal San Carlos, Escuela de Ingeniería, Junio 2004. 118 p.

RODRÍGUEZ, Gallardo, Rosa I. Análisis de las etapas de deslizamiento y erosión en el batolito costero. Proyecto de título (Título Ingeniero Civil). Concepción, Chile. Universidad Del Bío- Bío, Depto. De Ingeniería Civil, 2005. 145 p.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA y MINERÍA. Mapa geológico de Chile: Versión Digital, edición 1, 2003. 25 p.

SUAREZ, Diaz, Jaime. Deslizamientos. Análisis Geotécnico Colombia Universidad Industrial de Santander, UIS Facultad de Ingenierías Físico Mecánica Escuela de Ingeniería Civil 2009 Volumen 1 588 p.

SUAREZ, Jaime. Deslizamientos. Técnicas de Remediación. Colombia Universidad Industrial de Santander, UIS Facultad de Ingenierías Físico Mecánica Escuela de Ingeniería Civil 2009 Volumen 2 417 p.

SUAREZ, Jaime. Sitio WEB particular del ingeniero Jaime Suarez sobre temas de mecánica de suelos. [Http://www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co). Acceso: 15 Septiembre 2009]

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Registro de mediciones pluviométricas realizadas por estación valle Nonguen costado UBB. http://dgasatel.moptt.cl/filtro_paramxestac.asp Acceso: 17 Septiembre 2011.

DIRECCIÓN METEOROLOGICA DE CHILE. Descripción de la climatológica existente en la Región del Bío-Bío. http://www.meteochile.gob.cl/climas/climas_octava_region.html. Acceso: 12 de mayo 2011

WON, Taek Oh. Influence of rain infiltration on the stability of compacted soil slopes, publicación. Ottawa, Canada. University of Ottawa, Civil Engineering Department Canada Abril 2010, 9 p.

A N E X O S

ANEXO A: CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL SUELO EN ESTUDIO.....	40
ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE PRECIPITACIONES EN LA REGIÓN DEL BÍO BÍO.	45
ANEXO C: DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MEDIO AMBIENTE (LAGEMA) DE LA UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO.....	47
ANEXO D: DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO DPL	50
ANEXO E: EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD UTILIZADO.....	55
ANEXO F: DETALLES PLATAFORMA PARA ESCALERAS	59
ANEXO G: REGISTRO DE MEDICIONES PLUVIOMETRICAS.....	74
ANEXO H: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS	78
ANEXO I: RESULTADOS DE ENSAYO DPL.....	85
ANEXO J: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	91

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS DEL SUELO EN ESTUDIO.

A continuación se definirán los aspectos relacionados a las características geotécnicas en el cual se realizará el estudio.

Definición general de batolito costero.

El talud donde se realizarán las mediciones, corresponde a un segmento del Batolito Costero, el cual conforma casi la totalidad de la Cordillera de la Costa. La composición del batolito se basa en rocas ígneas del género granodioritas, cristalizadas a gran profundidad desde un magma original rico en sílice y por lo tanto viscoso, que no alcanza a fluir hacia la superficie como ocurre en el caso de las lavas volcánicas ferromagnesianas.

El ascenso y exposición de estas rocas a la atmósfera, produce en primera instancia en el macizo rocoso, una descompresión acompañada de fracturamiento mecánico en patrones que son generalmente paralelos, dando origen a tres o más familias de fracturas. En forma posterior, el agua con su carga de ácidos carbónicos más la incorporación de oxígeno en las fracturas abiertas, va descomponiendo químicamente las rocas en un proceso gradual que progresa hacia su interior desde los diedros y caras planas de los bloques fracturados. El resultado final del proceso, es un suelo residual en que pueden verse los cristales originales de cuarzo y restos de feldespatos rodeados de minerales de arcilla (Jiménez, 2002).

Escala de Meteorización.

La sociedad internacional de mecánica de rocas (IRMS) divide en 6 tipos distintos, el nivel de meteorización que se presentan en las rocas, dicha clasificación se representa en la siguiente tabla:

Tabla A1: Escala de meteorización de rocas (Fuente: IRMS)

Grado de Meteorización	Denominación	Criterio de Reconocimiento
I	Sana	Roca no meteorizada. Conserva el color lustroso en toda la masa.
II	Sana con juntas teñidas de óxido	Las caras de las juntas están manchadas de óxido, pero el bloque unitario entre juntas mantiene el color lustroso de la roca sana
III	Moderadamente meteorizada	Claramente meteorizada reconociéndose el cambio de color respecto a la roca sana. El cambio de color puede ser desde simples manchas a variación de color de toda la masa, generalmente a colores típicos de óxido de hierro. La resistencia de la roca puede variar desde muy análoga a la roca de grado II a bastante más baja, tal que trozos de 25 cm ² de sección no pueden romperse a mano
IV	Muy meteorizada	Roca intensamente meteorizada que puede desmenuzarse a mano y romperse, pero que no se desintegra al sumergirla en agua
V	Completamente meteorizada	Material con aspecto de suelo completamente descompuesto por meteorización “in situ”, pero en el cual se puede reconocer la estructura de la roca original; el material se desintegra en agua.
VI	Suelo	Material completamente descompuesto, siendo imposible reconocer su textura

Al analizar la zona en estudio se observa que el terreno existente se encuentra principalmente entre el rango del nivel IV y V, el cual corresponde a muy meteorizada y completamente meteorizada.

Descripción fotográfica de Particularidades de terreno existente en LAGEMA observadas In-Situ



Figura A1: Imágenes del estado in situ del talud analizado.



Figura A2: Características del material existente en la zona de muestreo.



Figura A3: Detalles de material rocoso encontrado en el talud utilizado.

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE PRECIPITACIONES EN LA REGIÓN DEL BÍO BÍO.

Este capítulo introducirá al lector en las condiciones climatológicas en la cual se encuentran sometido los taludes existentes en el batolito costero de la región del Bío Bío.

Descripción General de la Climatología de la Zona.

En la región del Bío Bío se produce el cambio de clima del tipo templado correspondiente a la zona central de Chile a un clima netamente lluvioso, siendo el primero característico por presentar veranos más cálidos y más secos, siendo este clima propicio para la actividad agrícolas, mientras que el clima lluvioso genera condiciones favorables para el desarrollo económico basado en la ganadería y la silvicultura.

Las condiciones climatológicas existentes en la región del Bío Bío han sido divididas en tres subclimas caracterizados por la intensidad de las precipitaciones, la duración de las estaciones y el impacto del océano en el comportamiento climatológico.

Clima Templado Cálido con estación seca de 4 a 5 meses:

Clima existente en zona norte de la Región abarcando de la costa hasta las proximidades de la frontera con Argentina. Se caracteriza por poseer un comportamiento idéntico al clima de la VII Región. Se presentan diferencias con el clima de la VII región en las temperaturas, ya que en esta zona las temperaturas medias son inferiores a 13°C. Del mismo modo la temperatura es menos en la zona costera, al norte de Concepción, entre Curanipe y Tomé, en cambio se incrementan hacia la precordillera.

Las precipitaciones anuales superan los 1.000 mm, pero en la alta cordillera es mucho más alta y de carácter nival, alcanzando en promedio los 3.000 mm.

Clima templado con una estación seca corta:

Las condiciones climatológicas que caracterizan a este clima comprenden a la mayor parte de la Región del Bío Bío, extendiéndose también desde la costa hacia la cordillera. Su principal característica es una estación seca más corta, que alcanza solo 4 meses en Concepción, 3 meses en Coihueco y sólo un mes en Diguillín. A diferencia del clima anterior las precipitaciones son más abundantes al norte que en la zona sur. La precipitación de los meses de mayo a agosto, equivale a un 65% a 70% del total anual mientras que en los meses de verano, sólo llueve un 5% a 6% del total anual.

Las temperaturas medias son ligeramente menores que en el subclima del sector norte: Diguillín presenta 1°C menos que Chillán, diferencia que también se asume para la costa, partiendo de valores que son 1°C ó 2°C inferiores a los del interior.

Este subclima recibe una gran influencia del mar, se aprecia en las variaciones de la amplitud térmica anual, observándose diferencias entre los meses cálidos y frío de 7.5°C, en Diguillín de 10.3°C y en Coihueco de 11.4°C.

Clima templado lluvioso con influencia mediterránea

Las condiciones de este subclima se encuentran ubicadas en el sector costero sur de la Región, específicamente en la provincia de Arauco. Está muy determinado por la presencia de la parte más alta de la Cordillera de Nahuelbuta hacia el oriente, el cual produce zonas de mayor nubosidad junto con grandes diferencias térmicas y pluviométricas a la zona contigua a la ladera oriental del cordón cordillerano que pertenece a la IX Región.

Las precipitaciones aumentan según la latitud, registrándose en Contulmo más de 140 mm más de precipitaciones que en Concepción, ubicada 170 km más al norte. La amplitud térmica anual es baja, del orden de 8°C según los registros de Contulmo. Mientras que la amplitud térmica diaria se estima que es similar a la de Concepción, en el orden de 10°C.

ANEXO C: DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO DE GEOTECNIA Y MEDIO AMBIENTE (LAGEMA) DE LA UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO.

Contexto Histórico de la Creación de LAGEMA

LAGEMA surge el año 2002 con el objeto de generar un espacio para el estudio de taludes al interior de las dependencias de la UBB sede Concepción, el motivo de la realización de este espacio se debió a la investigación realizada por don Ricardo Riveros con el fin de optar al Título de Ingeniero Civil y cuya investigación tenía por nombre “Implementación y Optimización de Sistema de Recubrimiento Económico, No Tradicional, para Taludes de la VIII Región”.

LAGEMA se encuentra ubicado como se describió anteriormente al interior del Campus Concepción de la UBB, las coordenadas Georeferenciadas son: $36^{\circ}49'24''\text{S}$ y $73^{\circ}00'37''\text{O}$. En la figura C1 se observa un detalle de la ubicación del LAGEMA.



Figura C1: Ubicación de Lagema al interior del Campus Concepción de la UBB (fuente Google Earth)

Situación Base del Talud Utilizado

Como se ha descrito en el cuerpo del informe, la zona correspondiente al talud a estudiar no se encontraba en condiciones generando un alto riesgo para las personas que trabajan en LAGEMA. Además la vegetación existente reducía el área de trabajo a una sección pequeña lo cual se observa en la figura C2, imagen tomada antes del inicio del trabajo de mejoramiento de la zona.



Figura C2: Situación base del talud existente en LAGEMA al interior del Campus Concepción de la UBB.

Con lo descrito anteriormente, para la habilitación de la zona de trabajo se tuvo como objetivo primario, reconstruir la pendiente del talud para disminuir el riesgo a colapso por falla gravitacional, para esto se utilizaron los métodos de corte del estrato superior y adición de material removido para proyectos anteriores, la fisonomía final del talud se puede observar en la figura C3.



Figura C3: Estado final luego de reconstrucción de talud ubicado en LAGEMA al interior del Campus Concepción de la UBB.

ANEXO D: DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EQUIPO DPL

Como se describió en el ítem características del equipo DPL, los componentes son:

Cono Dinámico: El cono dinámico está compuesto de dos zonas que son: punta y cilindro principal. La punta es la encargada de entregar al suelo toda la energía generada por el martillo mientras que el cilindro solo traspasa la carga, poseyendo una leve inclinación esto con el objeto de no provocar fricción con el suelo (detalle en figura D1).



Figura D1: Detalle de cono dinámico de equipo de sondaje DPL

Barra guía: Pieza unida al yunque que permite dar la altura de caída requerida por el martillo y a su vez guía en su caída libre hacia el yunque.



Figura D2: Barra guía de equipo de sondaje DPL

Martillo o Martinete: Pieza cilíndrica utilizada para generar la energía mecánica requerida para la hincada del cono. El martillo se utiliza gravitacionalmente y posee un peso de 10 KG.



Figura D3: Detalle de martillo de golpe de equipo de sondaje DPL

Cabeza de golpeo o Yunque: Pieza que recibe el impacto del martillo cuando es utilizado y cuyo objetivo es transmitir la energía producida hacia la punta del cono dinámico.



Figura D4: Detalle de la cabeza de golpeo o yunque de equipo de sondaje DPL

Varillaje: Barras metálicas las cuales transmiten la energía producida por el martillo hacia el cono. Las barras se conectan desde el yunque hacia el cono cilíndrico, poseen una longitud de un metro y posee líneas de referencia cada diez centímetros, con el objeto de facilitar el estudio.



Figura D5: Detalle de varillas de traspaso de carga de equipo de sondaje DPL

Placa base: Placa metálica la cual permite dar soporte a las componentes del equipo, esto permite que se encuentre vertical y con esto cumple lo especificado en la norma.



Figura D6: Detalle de varillas de traspaso de carga de equipo de sondaje DPL

La normativa ISO 22476-2 en su tabla 1 detalla las dimensiones y las tolerancias de cada una de las piezas que componen los equipos de registro continuo, para el caso del equipo DPL los rangos son los siguientes:

Tabla D1: Tabla de tolerancias permitida para los componentes del equipo DPL (Fuente: normativa ISO 22476-2)

DIMENSIONES y MASAS DEL EQUIPO DPL				
	INSTRUMENTO	SIMBOLO	UNIDAD	DIMENSION
1	MARTILLO O MARTINETE			
1.1	Masa	m	kg	10 \pm 0,1
1.2	Altura de caída	h	mm	500 \pm 10
2	YUNQUE			
2.1	Diámetro	d	mm	50<d<Dh
2.2	Masa (máx.)	m	Kg	6
3	CONO DINAMICO			
3.1	Área basal nominal	A	cm ²	10
3.2	Diámetro de la base (cono nuevo)	D	mm	35,7 \pm 0,3
3.3	Diámetro de la base (cono usado)		mm	34
3.4	Altura de cilindro principal	L	mm	35,7 \pm 1
3.5	Altura de la punta del cono		mm	17,9 \pm 0,1
3.6	Desgaste máximo del cono		mm	3
4	BARRAS O VARILLAS			
4.1	Masa	m		3
4.2	Diámetro	dr		22
4.3	Desviación de barras			
4.4.1	- Mayor a 5 metros		%	0,1
4.4.2	- Menor a 5 metros		%	0,2
5	TRABAJO REQUERIDO			
5.1	TRABAJO ESPECIFICO PARA LA HINCA	mgh/A*En	Kj/m ²	50
OBSERVACIONES:				
Dh corresponde al diámetro del martillo, si es rectangular, se usará la menor dimensión como diámetro				
La longitud de las barras no debe ser mayor a dos metros				
La desviación de las barras se ven con respecto a la vertical				

ANEXO E: EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD UTILIZADO

Como se describió anteriormente, para la realización de la etapa experimental, se debe prestar una gran atención a lo concerniente a las medidas de seguridad, esto debido a que las características y condiciones que se realizó el ensayo, no son las habituales, por lo que para la realización de la etapa experimental, se requirió los siguientes medios de seguridad.

Arnés para escalada: El arnés de escalada es el óptimo, esto debido a que por la forma de trabajo en taludes, el arnés tradicional de seguridad para faenas (arnés de tres puntas) no permite un trabajo cómodo, por lo que se debió utilizar esta alternativa, el cual cumple con los exigentes estándares de seguridad relacionadas con el montañismo (están diseñados para soportar a una persona suspendida a diferencia de los arneses tradicionales, usados en faena)



Figura E1: Arnés de escalada deportiva utilizado en la realización de experiencia.

Casco de seguridad para escalada: El casco de escalada posee un sistema de cordones, lo que impide que se caiga por lo adverso del trabajo, se caracteriza por ser pequeño y cómodo, permitiendo un trabajo sin complicaciones por su uso.



Figura E2: Casco de escalada deportiva utilizado en muestreo.

Cuerdas de escalada: Las cuerdas de escalada pueden ser estáticas o dinámicas, esto por las condiciones de uso que se les someterá, las más idóneas para este trabajo son las estáticas. Cada operario que esté trabajando debe utilizar dos cuerdas, una principal y una cuerda de vida auxiliar. El uso de dos cuerdas se utiliza a pesar que las cuerdas poseen una alta resistencia (trabajan aproximadamente a 15% de su capacidad en la situación más desfavorable).

Los diámetros utilizados para la realización de los ensayos son de 10 mm. y 11mm. los que se usaban como cuerda de vida y cuerda principal respectivamente.



Figura E3: Cuerda estática utilizada como cuerda principal y cuerda de vida durante los ensayos.

Accesorios para equipo de escalada: Estos accesorios permiten conectar el arnés con la cuerda principal y de vida, para este estudio, se utilizaron mosquetones, grigri y un descendedor apoyado por cordines (cuerdas estáticas de 6 mm.)



Figura E4: Accesorios de equipo de escalada, izq. a der.: Mosquetón, grigri, descendedor, cordín.

Zapatos de seguridad: El calzado de seguridad evita cualquier lesión provocada por una posible caída del martillo golpeador del DPL que pesa diez kilos o algún otro accesorio del equipo de sondaje

Guantes antideslizantes: El uso de guantes es indispensable para evitar lesiones por el contacto con los instrumentos y el manejo con las cuerdas, el requisito es que posean capacidad de adherencia con las cuerdas, ya que es el momento de mayor exigencia al que estarán sometidos.

Tapones para oídos: Al producirse el impacto entre yunque y martillo golpeador, surge la necesidad del uso de protección auditiva, esto se debe, a que el impacto genera un sonido molesto para el oído del operario y el ayudante. Los tapones utilizados son los que se utilizan en cualquier faena en nuestro país.

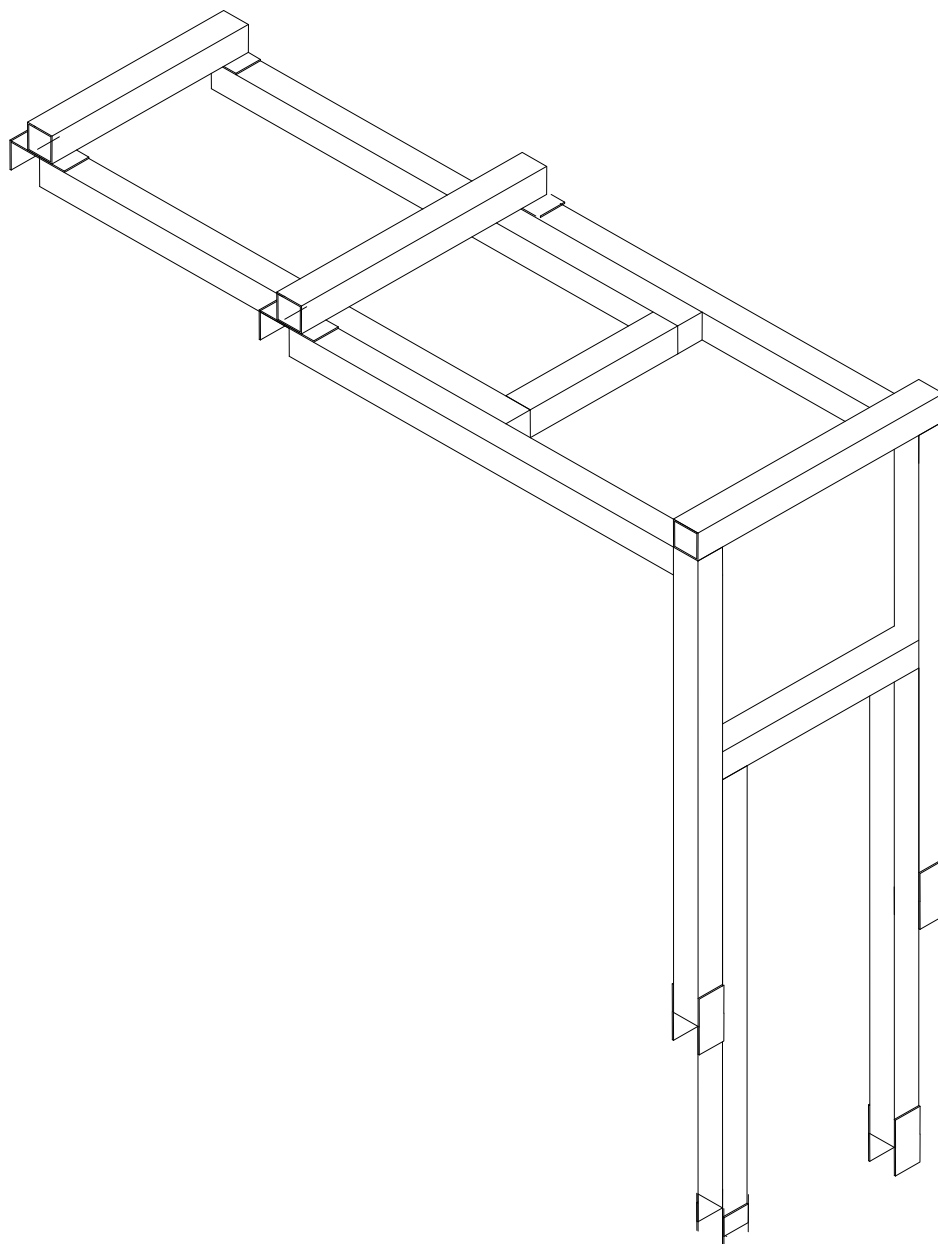


Figura E5: Tapones para oídos utilizados durante muestreo.

ANEXO F: DETALLES PLATAFORMA PARA ESCALERAS

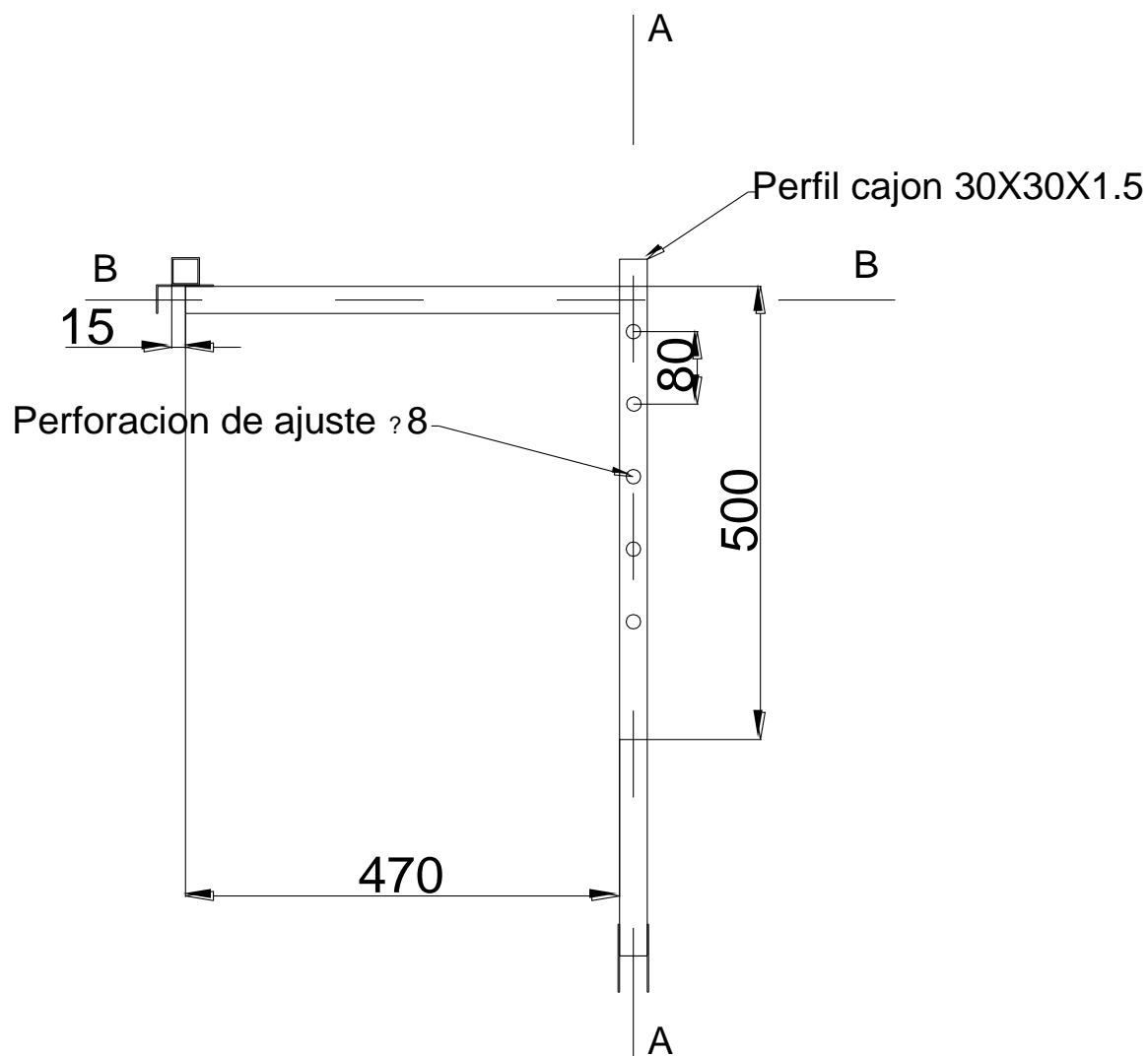
A Continuación se presenta al lector, los detalles que posee la plataforma de muestreo construida para generar una superficie horizontal al equipo de sondaje. Se adjunta vistas generales de la plataforma con sus respectivas cotas y finalmente se adjunta un diagrama del montaje de la estructura, con su correspondiente detalle de las piezas a utilizar.

DETALLES PLATAFORMA DE MUESTREO



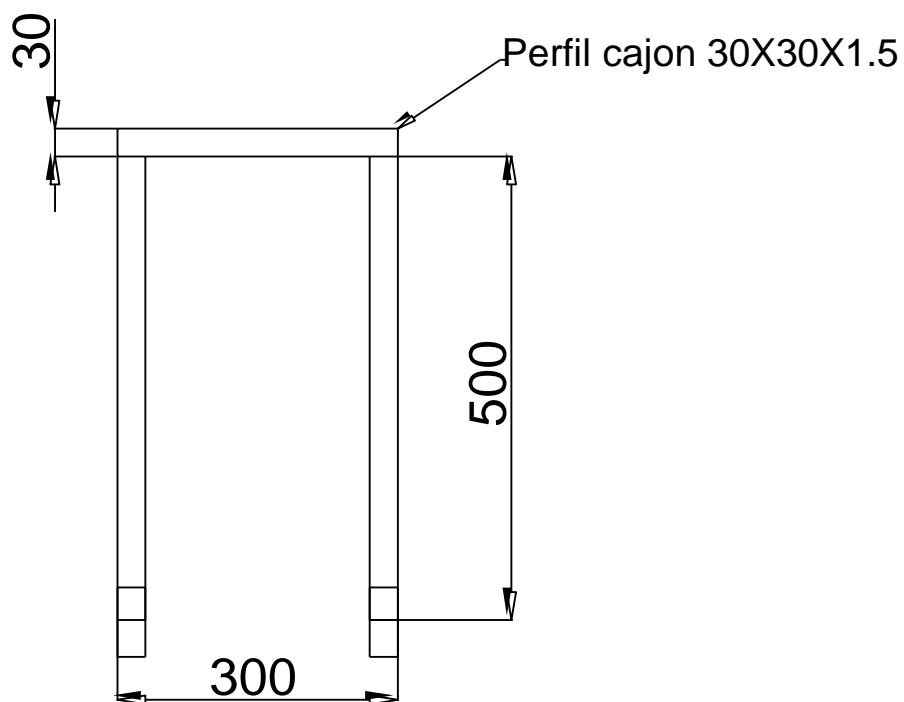
Vista Isométrica Plataforma
Esc 1:8

DETALLES PLATAFORMA DE MUESTREO



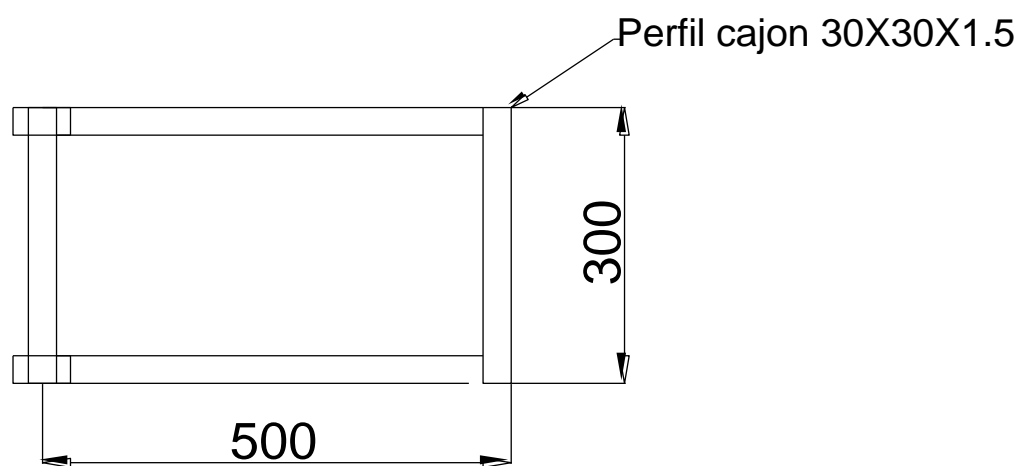
Vista sección principal
Esc 1:8

DETALLES PLATAFORMA DE MUESTREO



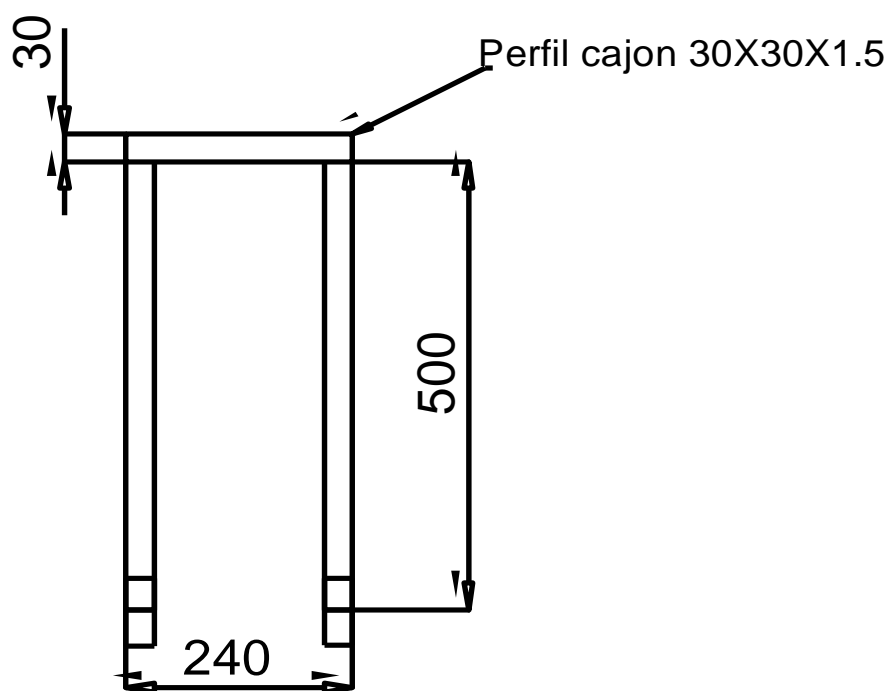
Corte A-A (Sección Principal)
Esc 1:8

DETALLES PLATAFORMA DE MUESTREO



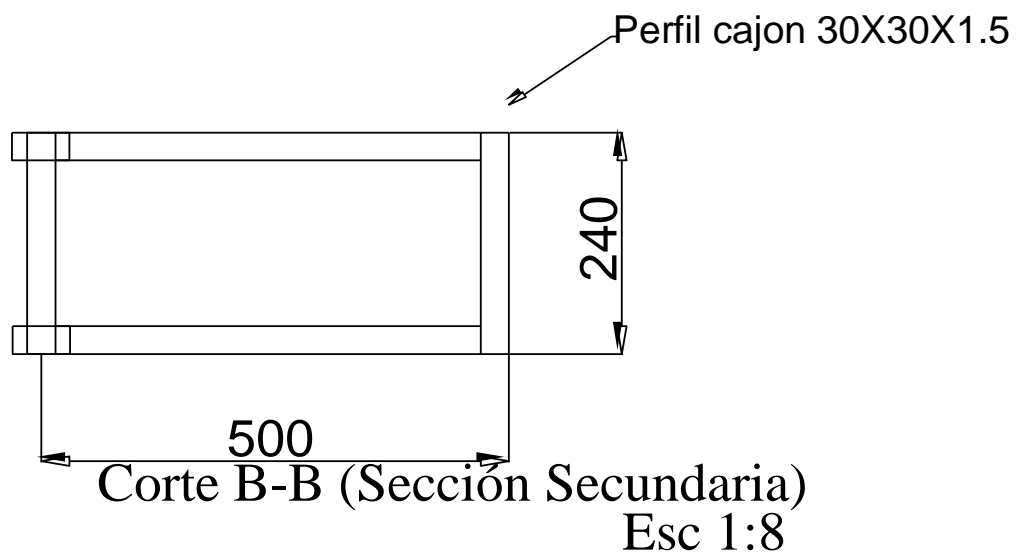
Corte B-B (Sección Principal)
Esc 1:8

DETALLES PLATAFORMA DE MUESTREO



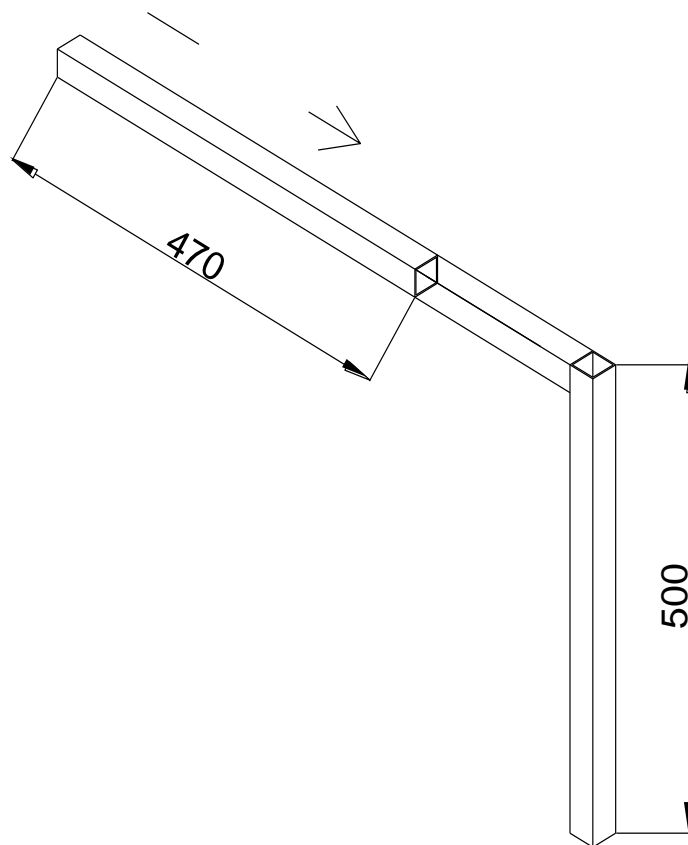
Corte A-A (Sección Secundaria)
Esc 1:8

DETALLES PLATAFORMA DE MUESTREO



ESQUEMA DE MONTAJE DE PLATAFORMA

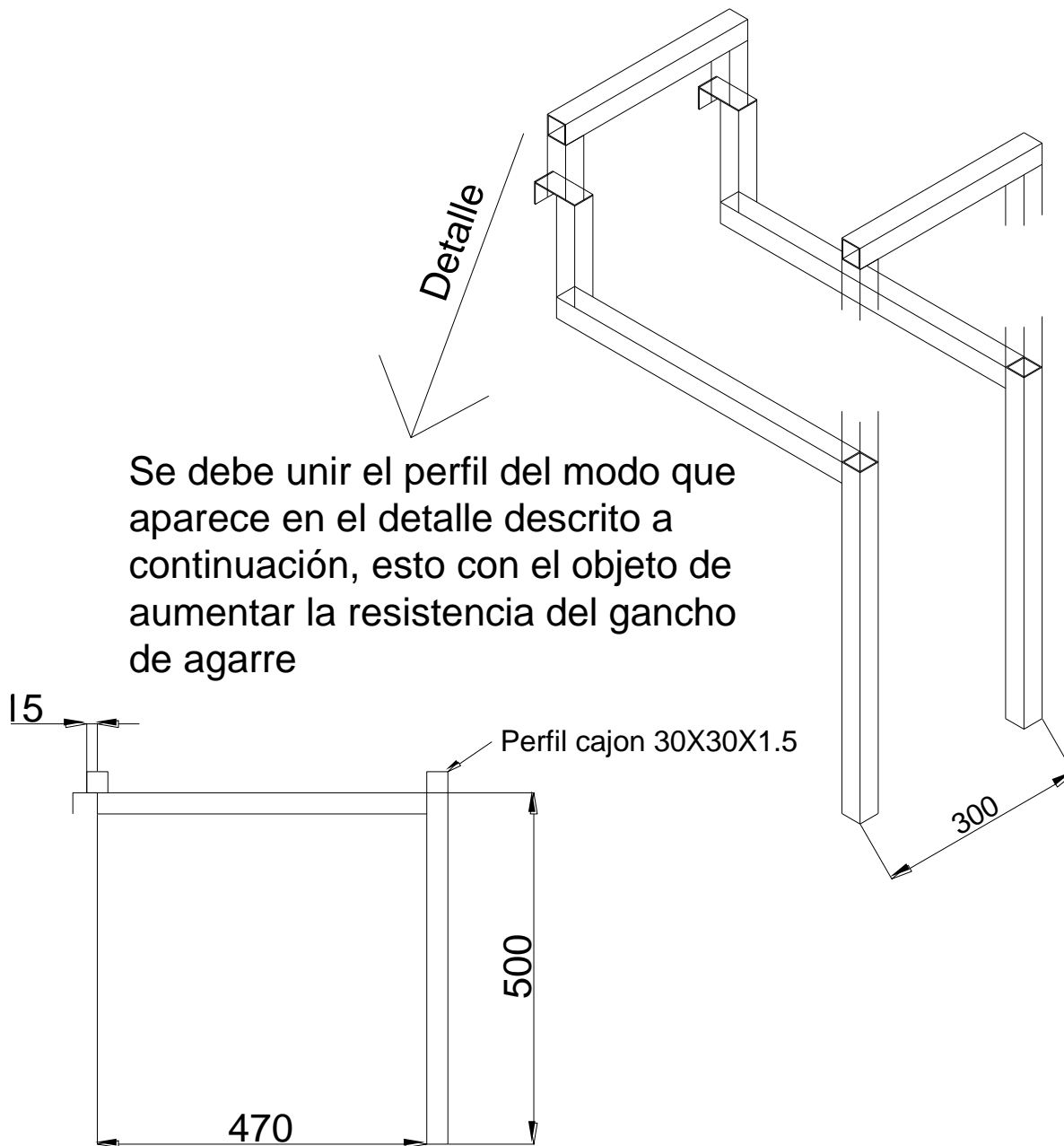
Montaje sección Principal



Se requiere 1 par

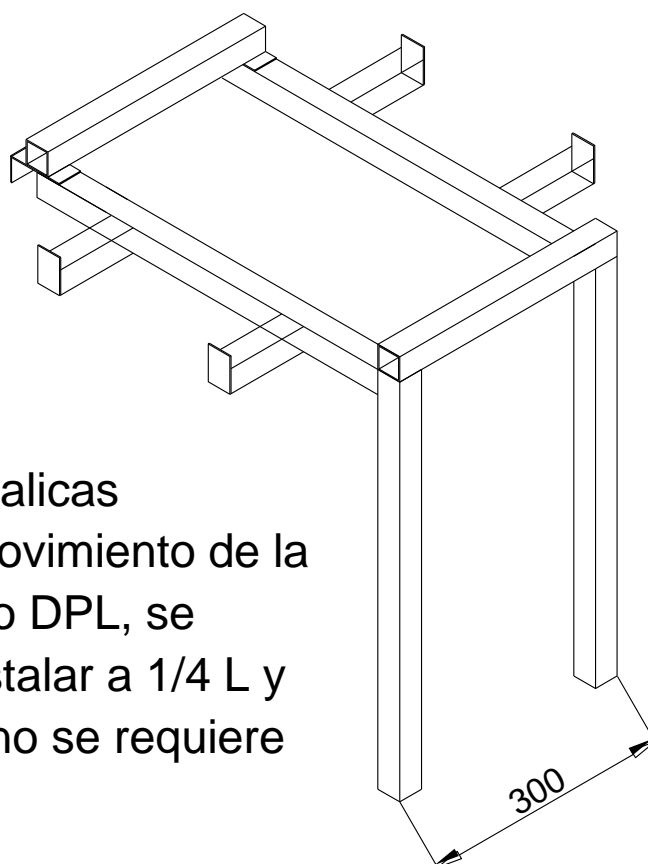
ESQUEMA DE MONTAJE DE PLATAFORMA

Montaje sección Principal



ESQUEMA DE MONTAJE DE PLATAFORMA

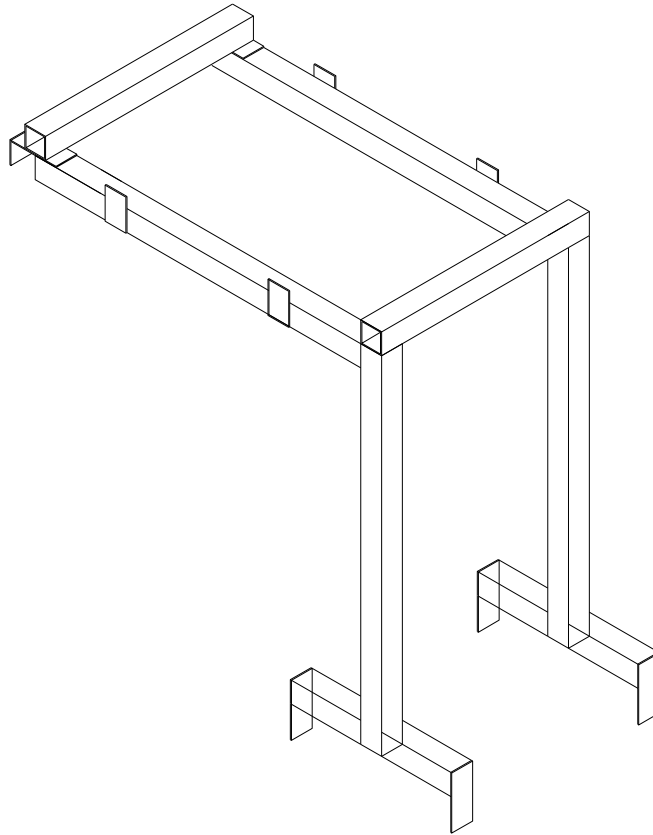
Montaje sección Principal



Las placas metálicas restringen el movimiento de la base del equipo DPL, se recomienda instalar a $1/4 L$ y a $3/4 L$ perfil (no se requiere exactitud)

ESQUEMA DE MONTAJE DE PLATAFORMA


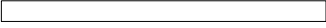

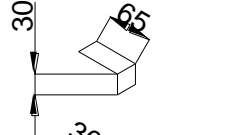
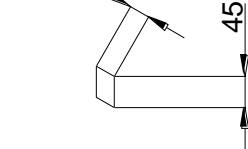
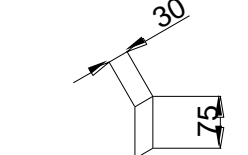
Montaje sección Principal



Las placas metálicas deben sobresalir 4 cm para asegurar la plataforma

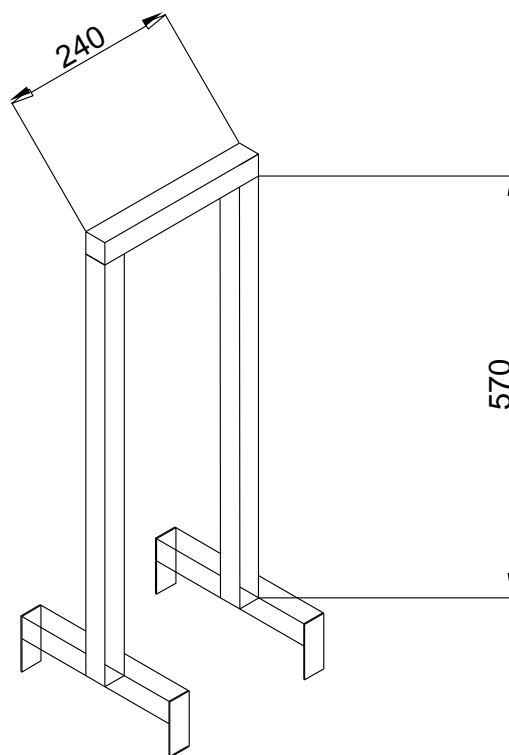
ESQUEMA DE MONTAJE DE PLATAFORMA

Listado de piezas

	Perfil de 50 cm de longitud para sección principal= 2 piezas
	Perfil de 47 cm de longitud para sección principal= 2 piezas
	Perfil de 30 cm de longitud= 2 piezas
	Gancho para soporte horizontal ancho fijo de 3 cm= 2 piezas
	Placas de ajuste de base de equipo de Sondaje= 4 piezas
	Placas para apoyo principal= 4 piezas

ESQUEMA DE MONTAJE DE PLATAFORMA

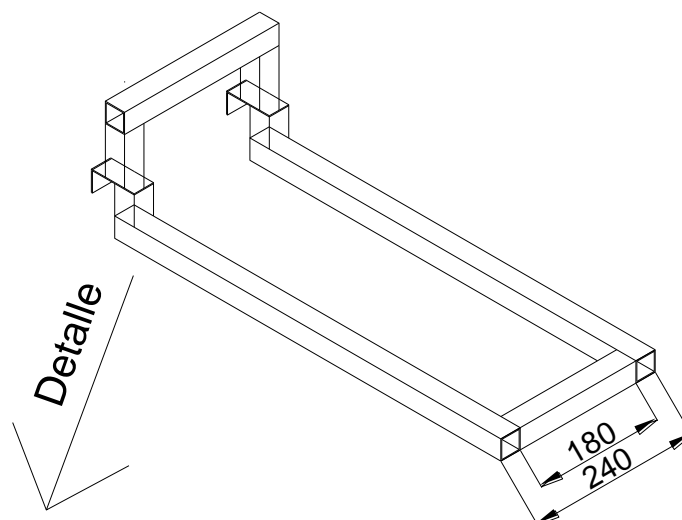
Montaje sección Secundaria



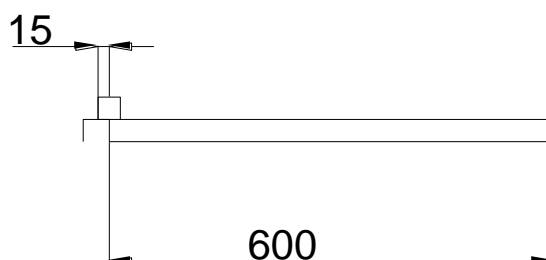
La placa debe sobresalir
4 cm para asegurar la
mesa

ESQUEMA DE MONTAJE DE PLATAFORMA

Montaje sección Secundaria



Se debe unir el perfil del modo que aparece en el detalle descrito a continuación, esto con el objeto de aumentar la resistencia del gancho de agarre



ESQUEMA DE MONTAJE DE PLATAFORMA

Listado de piezas



Perfil de 60 cm de longitud para sección secundaria= 2 piezas



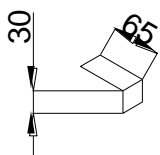
Perfil de 57 cm de longitud para sección secundaria= 2 piezas



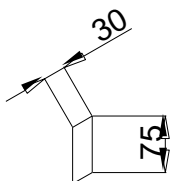
Perfil de 24 cm de longitud= 1 piezas



Perfil de 18 cm de longitud= 1 pieza



Gancho para soporte horizontal
ancho fijo de 3 cm= 2 piezas



Placas para apoyo principal= 4 piezas

ANEXO G: REGISTRO DE MEDICIONES PLUVIOMETRICAS

La precipitación acumulada del estudio, fue medida en el pie del talud utilizado, sin embargo, para efectos de la validación de los datos, se recurrió al registro de precipitaciones que posee la Dirección General de Aguas (DGA), para este caso, la estación más cercana a la zona de estudio se encuentra ubicada a un costado de la UBB en la intersección de Avenida Ignacio Collao con el estero Nonguen, dicho emplazamiento recibe de parte de la DGA el nombre de estación Nonguen Costado UBB.

A continuación se adjunta la tabla G1 y G2 con los valores medidos de precipitaciones en la fecha analizada y su respectiva contraparte medida por DGA.

Tabla G1: Registro de mediciones pluviométricas realizadas en LAGEMA.

Día de medición	Hora medición	Vol. medido (ml)	mm. precipitados
viernes 3 de junio	11:45	200	5,77
lunes 6 de junio	11:45	225	6,50
martes 7 de junio	17:59	1100	31,76
miércoles 8 de junio	17:26	240	6,93
Sábado 11 de junio	13:13	600	17,32
lunes 13 de junio	13:16	625	18,04
Martes 14 de Junio	18:24	400	11,55
Sábado 18 de Junio	12:17	1500	43,31
Lunes 20 de Junio	11:42	1120	32,34
miércoles 29 de junio	11:35	2150	62,07
miércoles 13 de julio	11:30	920	26,56
jueves 14 de Julio	11:44	1850	53,41
viernes 15 de julio	11:37	950	27,43
martes 26 de julio	15:00	1200	34,65
jueves 28 de Julio	17:00	1650	47,64
Martes 2 de Agosto	12:22	400	11,55
viernes 5 de agosto	11:30	760	21,94
Lunes 8 de Agosto	12:00	2100	60,63
miércoles 10 Agosto	12:00	700	20,21
Jueves 18 de Agosto	12:00	2600	75,07
martes 30 de Agosto	11:30	2600	75,07
Jueves 15 de septiembre	11:30	1650	47,64
Viernes 16 de septiembre	11:15	750	21,65
TOTAL DE PRECIPITACIÓN REGISTRADA			759,03

Tabla G2: Registro de mediciones pluviométricas realizadas por DGA en estación estero Nonguen.

Fecha-Hora de Medición	Esterio Nonguen -PpAcu (mm)	mm precipitado por intervalo (mm)
03-06-2011 11:35	250	
06-06-2011 11:35	256	6
07-06-2011 17:35	287	31
08-06-2011 17:35	292	5
11-06-2011 11:30	318	26
13-06-2011 13:35	319	1
14-06-2011 18:35	319	0
18-06-2011 12:35	365	46
20-06-2011 11:35	396	31
29-06-2011 11:35	451	55
13-07-2011 11:35	476	25
14-07-2011 11:35	526	50
15-07-2011 12:35	549	23
26-07-2011 15:35	601	52
28-07-2011 17:35	619	18
02-08-2011 12:35	627	8
05-08-2011 11:35	644	17
08-08-2011 12:35	697	53
10-08-2011 12:35	714	16
18-08-2011 12:35	788	74
30-08-2011 11:35	867	79
15-09-2011 11:35	910	43
16-09-2011 11:35	928	19
Total precipitación registrada		679

Al comparar los registros pluviométricos, se observó una diferencia en el total precipitado. Dicha diferencia en porcentaje corresponde al siguiente valor:

La variación existente entre ambos datos alcanza aproximadamente un 10 %. Frente a esto es necesario realizar algunas observaciones del registro de datos.

- El pluviómetro de LAGEMA no permite una exactitud menor a 50 ml de volumen precipitado, por lo que los puntos intermedios tiende a generar errores en la medición.
- Al realizar el registro de datos de la estación “Estero Nonguen” se observan errores en la información que entrega la estación de la DGA, esto se presume por fallas del equipo. Dentro de las posibles fallas que explicarían las fallas en la medición, se encontraría el repentino cese del suministro eléctrico (fenómeno observado claramente para el día 10 de septiembre), problemas en el uso del instrumento y fenómenos naturales (acción de aves y acumulación de vegetación).

ANEXO H: RESULTADOS DE ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS

Determinación del tipo de suelo utilizado:

La realización de la granulometría se realizó siguiendo el procedimiento dictado por la norma NCh 165 of. 77. Para este caso, se realizaron dos zonas de extracción de muestras, la que corresponde a la parte superior del talud y al pie del talud, datos que fueron almacenados en dos pailas siendo la paila numero 33 correspondiente al suelo de la parte alta del talud y la paila 24 correspondiente a la zona del pie del talud. Los resultados se encuentran en las siguientes tablas

Para Muestra 1.- Paila 33

Tabla H1: Granulometría muestra 1 (paila 33)

Muestra 1						
Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido acumulado (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Nº 4	5	0,3	0,3	0,2	0,2	99,8
Nº 10	2	1,0	1,4	0,7	0,9	99,1
Nº 20	0,9	1,3	2,6	0,8	1,7	98,3
Nº 40	0,5	1,9	4,6	1,2	3,0	97,0
Nº 60	0,3	12,3	16,8	8,0	10,9	89,1
Nº 200	0,08	128,6	145,4	83,6	94,5	5,5
Masa total		153,8				

A continuación se presenta la figura H1 que representa la curva granulométrica del suelo en estudio.

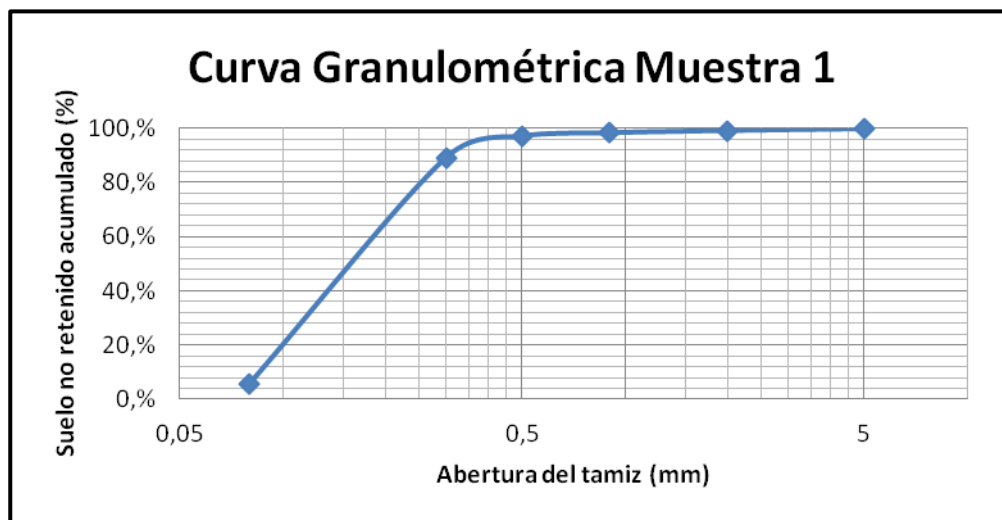


Figura H1: Curva granulométrica de muestra 1 de suelo.

Para Muestra 2.- Paila 24

Tabla H2: Granulometría muestra 2 (paila 24).

muestra 2						
Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido acumulado (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Nº 4	5	3,7	3,7	2,3	0,2	97,7
Nº 10	2	10,4	14,1	6,5	6,7	91,3
Nº 20	0,9	10,0	24,1	6,2	12,9	85,1
Nº 40	0,5	11,5	35,6	7,1	19,9	78,0
Nº 60	0,3	19,2	54,8	11,9	31,9	66,1
Nº 200	0,08	99,9	154,8	61,8	93,7	4,2
Masa total		161,6				

A continuación se presenta la figura H2 que representa la curva granulométrica del suelo en estudio.

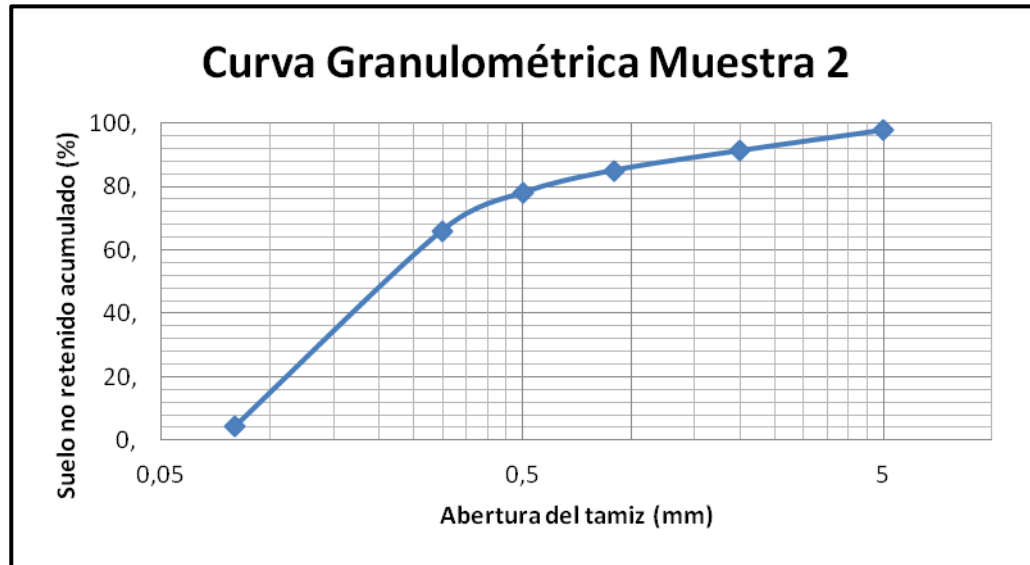


Figura H2: Curva granulométrica muestra 2 de suelo.

Ensayo de infiltración de suelo (PORCHET).

Como se describió en el cuerpo principal se adjunta la información detallada registrada en terreno al momento de realizar el ensayo de infiltración, esto con el objeto de conocer la capacidad inicial que poseía el suelo para captar agua. Las dimensiones del foso construido son de radio (R) 150 mm y una profundidad de 300 mm de los cuales se le introdujo agua hasta alcanzar una altura de 20 cm. La ecuación que rige este método es la siguiente:

$$f = \frac{R}{2 \cdot (t_2 - t_1)} * \ln \left(\frac{2h_1 + R}{2h_2 + R} \right) \quad \text{Ec(1)}$$

Donde:

R: Radio de foso

T₂: Tiempo del intervalo analizado

T₁: Tiempo del intervalo anterior al analizado

h₁: Altura del intervalo anterior al analizado

h₂: Altura del intervalo anterior al analizado

El ensayo de infiltración 1 fue realizado el día 28 de abril del 2011 y los datos obtenidos son los mostrados en la siguiente tabla (tabla H3):

Tabla H3: Registro de información para ensayo 1 de infiltración del suelo con método PORCHET.

Nivel de Agua (h) (mm)	Tiempo (t) (hr)	2h + R (mm)	Tasa de Infiltración (mm/hr)
200	0	550	
190	0,004	530	666,7
180	0,011	510	422,2
170	0,017	490	529,5
160	0,021	470	781,4
150	0,033	450	257,5
140	0,056	430	151,5
130	0,101	410	79,4
120	0,153	390	71,4
110	0,224	370	55,7
100	0,297	350	57,5
MEDIA			307,28

El ensayo de infiltración 2 fue realizado el día 17 de Septiembre del 2011 y los datos obtenidos son los mostrados en la siguiente tabla (tabla H4):

Tabla H4: Registro de información para ensayo 2 de infiltración del suelo con método PORCHET.

Nivel de Agua (h) (mm)	Tiempo (t) (hr)	2h + R (mm)	Tasa de Infiltración (mm/hr)
200	0	550	
190	0,025	530	109,7
180	0,073	510	61,2
170	0,135	490	47,8
160	0,259	470	25,3
150	0,375	450	28,0
140	0,539	430	20,8
130	0,750	410	17,0
120	0,954	390	18,4
110	1,133	370	22,0
100	1,358	350	18,5
MEDIA			36,85

Determinación del Límite Líquido del Suelo.

Para determinar los límites de Atterberg, es preciso realizar el ensayo de Casagrande con el objeto de determinar el límite líquido de un suelo. El ensayo consiste en determinar la cantidad de humedad que debe poseer el suelo para unir una muestra de suelo separada por 1 cm. realizando 25 golpes. Para medir esto, se utiliza la máquina de Casagrande (figura H3) y cuyos resultados obtenidos son los siguientes para las muestras estudiadas:



Figura H3: Máquina de Casagrande utilizada para la obtención del límite líquido.

Tabla H5: Resumen ensayo para determinación de límite líquido muestra 1.

Ensayo N°	1	2	3
Capsula N°	M	10	L16
Numero de golpes, N	38	31	17
Peso del suelo húmedo + cap.	36.83	28.20	26.18
Peso del suelo seco + cap.	33.32	24.50	22.68
Peso de tara	24.10	14.81	13.93
Peso del suelo seco	9.22	9.69	8.75
Peso de agua	3.51	3.70	3.50
Contenido de humedad %	38.1	38.2	40.0

Con los datos obtenidos, se modelan en el siguiente grafico los puntos con lo cual se obtiene la humedad requerida para los 25 golpes.

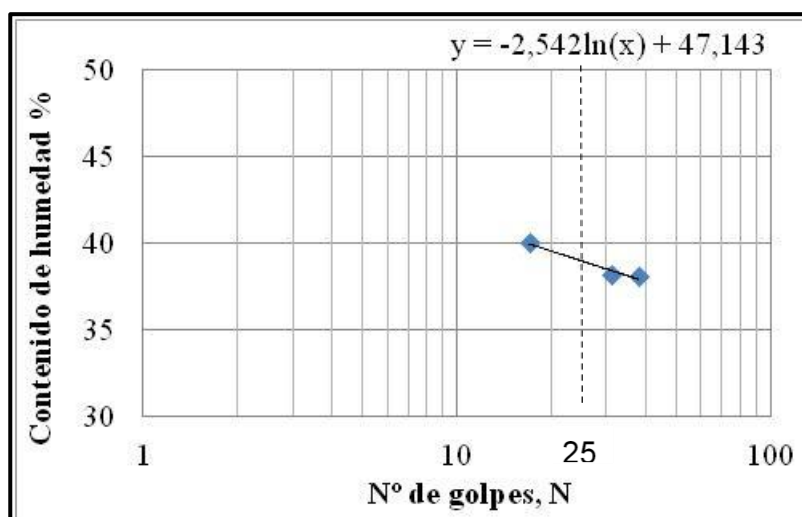


Figura H4: Grafico que representa la fluidez del suelo de muestra 1.

Obtenida la línea de tendencia se tiene que:

$$Y = A \ln x + B$$

$$A = -2.542$$

$$B = 47.143$$

$$\text{Por lo tanto } Y (N=25) = 38.96$$

Se concluye que para la muestra 1 del suelo en estudio, el límite plástico que posee es de un 38.96 %.

Para el caso de la muestra 2 los resultados del ensayo para obtener el límite líquido son los siguientes:

Tabla H6: Resumen ensayos para límite líquido.

Ensayo N°	1	2	3
Capsula N°	J	52	I
Numero de golpes, N	28	24	14
Peso del suelo húmedo + cap.	39.85	32.62	38.52
Peso del suelo seco + cap.	34.24	28.34	33.09
Peso de tara	20.68	18.09	20.64
Peso del suelo seco	13.56	10.25	12.45
Peso de agua	5.61	4.28	5.43
Contenido de humedad %	41.4	41.8	43.6

El respectivo grafico de la muestra 2 es el siguiente:

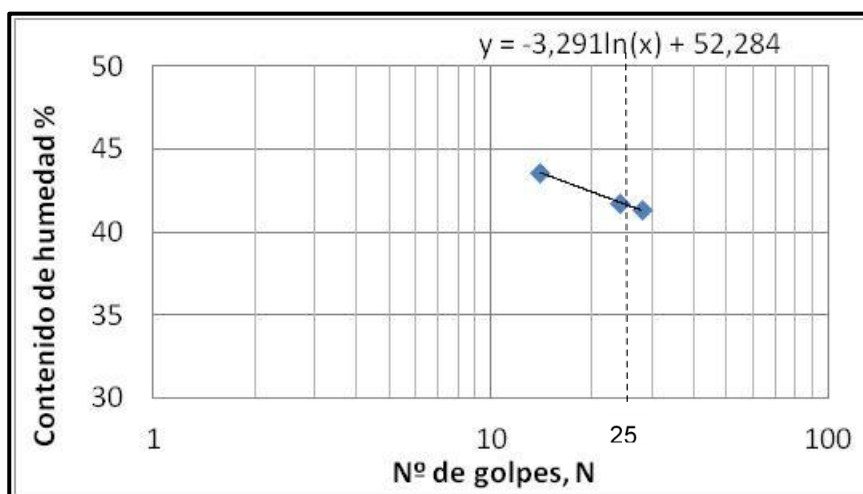


Figura H5: Grafico que representa la fluidez del suelo.

Obtenida la línea de tendencia de la muestra 2 se tiene:

$$Y = A \ln x + B$$

$$A = -3.291$$

$$B = 52.284$$

$$\text{De esta manera } Y (N=25) = 41.69$$

Se concluye que para la muestra 2 del suelo en estudio, el límite plástico que posee es de un 41.69 %.

ANEXO I: RESULTADOS DE ENSAYO DPL*Resultados de ensayo de penetración utilizando sondaje DPL*

Como se describió en el capítulo 5 los resultados detallados de cada sondaje se entregarían en este ítem de los anexos, se debe recordar que la altura de caída utilizada es de un 50% del total descrito en la norma ISO 22476-2 con el objeto de aumentar la sensibilidad en el muestreo. Las tablas presentadas a continuación, entregan una simbología en el cual se describe el sondaje realizado y el punto muestreado, siendo el primer número del código el número del sondaje y el número siguiente al guion al punto analizado

La información mostrada a continuación se encuentra visualizada gráficamente en el ítem capítulo VI.

Tabla II: Datos y observaciones ambientales registrados para sondaje 1.

Fecha		19-08-2011		Lugar muestreo		LAGEMA		Ensayo	
Pp. Acumulada		614,17		Hora muestreo		Desde 12:43		DPL	
Operario		Alonso Garrido		Clima		DESPEJADO			
Punto		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	Media	Desv. Estan.	
Desde (cm)	Hasta (cm)	Golpes	Golpes	Golpes	Golpes	Golpes			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	
10	20	0	0	0	0	0	0	0	
20	30	0	0	0	0	0	0	0	
30	40	0	4	0	4	5	3	2	
40	50	0	4	4	5	7	4	3	
50	60	0	5	4	5	8	4	3	
60	70	4	4	7	6	8	6	2	
70	80	7	5	9	7	8	7	1	
80	90	9	7	9	9	11	9	1	
90	100	12	8	9	12	10	10	2	
100	110	14	11	11	23	11	14	5	
110	120	14	15	11	22	12	15	4	
120	130	21	15	11	21	11	16	5	
130	140	22	14	11	21	12	16	5	
140	150	20	15	12	20	16	17	3	
150	160	21	17	14	24	22	20	4	
160	170	20	21	15	29	19	21	5	
170	180	21	23	16	30	27	23	5	
180	190	21	23	14	33	25	23	7	
190	200	18	20	17	25	25	21	4	
200	210	16	19	18	20	32	21	6	
210	220	17	19	16	18	33	21	7	
220	230	17	18	17	20	35	21	8	
Media		11	11	9	15	14			
Desv. Estan.		9	8	6	11	11			

Del mismo modo para el sondaje 2, los resultados obtenidos se resumen en la tabla X que se encuentra a continuación:

Tabla I2: Datos y observaciones ambientales registrados para sondaje 2.

Fecha		30-08-2011		Lugar muestreo		LAGEMA		Ensayo	
Pp. Acumulada		689,18		Hora muestreo		Desde 12:15		DPL	
Operario		Alonso Garrido		Clima		DESPEJADO			
Punto		2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	Media	Desv. Estan.	
Desde (cm)	Hasta (cm)	Golpes	Golpes	Golpes	Golpes	Golpes			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	
10	20	0	0	0	0	0	0	0	
20	30	0	0	0	0	0	0	0	
30	40	0	0	0	0	0	0	0	
40	50	0	4	0	6	8	4	4	
50	60	0	7	7	6	8	6	3	
60	70	0	13	6	7	8	7	5	
70	80	0	11	10	8	8	7	4	
80	90	8	11	13	10	10	10	2	
90	100	9	17	13	11	13	13	3	
100	110	11	21	14	12	11	14	4	
110	120	10	29	13	13	11	15	8	
120	130	11	43	22	16	14	21	13	
130	140	11	41	22	23	17	23	11	
140	150	13	19	28	20	12	18	6	
150	160	14	35	37	23	18	25	10	
160	170	15	42	33	20	17	25	12	
170	180	15	54	26	13	18	25	17	
180	190	17	34	17	13	18	20	8	
190	200	21	23	17	15	19	19	3	
200	210	28	20	17	15	24	21	5	
210	220	30	16	15	16	24	20	7	
220	230	40	20	17	16	25	24	10	
Media		11	19	14	11	12			
Desv. Estan.		11	16	11	7	8			

Debido a que el sondaje 3 se realizo en dos días, los resultados se tabularan en dos tablas distintas, esto debido a que en la noche anterior al segundo día de ensayos, ocurrieron precipitaciones, los cuales generaron una variación en la precipitación acumulada registrada, por lo que se cree recomendable adjuntar esta información de manera separada para no influenciar a un error por parte del lector.

Tabla I3: Datos y observaciones ambientales registrados para primer día de sondaje 3.

Fecha		15-09-2011		Lugar muestreo		LAGEMA		Ensayo	
Pp. Acumulada		737		Hora muestreo		Desde 15:00		DPL	
Operario		Alonso Garrido		Clima		PARCIAL			
Punto		3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	Media	Desv. Estan.	
Desde (cm)	Hasta (cm)	Golpes	Golpes	Golpes	Golpes	Golpes			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	
10	20	0	0	0	0	0	0	0	
20	30	0	0	0	0	0	0	0	
30	40	0	0	0	0	0	0	0	
40	50	0	0	0	0	0	0	0	
50	60	0	0	0	0	0	0	0	
60	70	0	0	0	0	0	0	0	
70	80	0	6	0	0	0	1	3	
80	90	3	9	7	0	0	4	4	
90	100	7	11	11	0	0	6	6	
100	110	8	11	18	0	0	7	8	
110	120	13	10	19	0	0	8	8	
120	130	11	11	13	0	0	7	6	
130	140	13	11	13	0	0	7	7	
140	150	12	13	14	0	0	8	7	
150	160	13	16	12	0	0	8	8	
160	170	12	14	17	0	0	9	8	
170	180	11	12	17	0	0	8	8	
180	190	14	16	13	0	0	9	8	
190	200	14	16	13	0	0	9	8	
200	210	14	27	14	0	0	11	11	
210	220	13	22	14	0	0	10	10	
220	230	15	18	16	0	0	10	9	
Media		7	9	9	0	0	Obs: medicion se hizo en dos dias		
Desv. Estan.		6	8	7	0	0			

Tabla I4: Datos y observaciones ambientales registrados para segundo día de sondaje 3.

Fecha		16-09-2011		Lugar muestreo		LAGEMA		Ensayo	
Pp. Acumulada		759		Hora muestreo		Desde 15:00		DPL	
Operario		Alonso Garrido		Clima		DESPEJADO			
Punto		3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	Media	Desv. Estan.	
Desde (cm)	Hasta (cm)	Golpes	Golpes	Golpes	Golpes	Golpes			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	10	0	0	0	0	0	0	0	
10	20	0	0	0	0	0	0	0	
20	30	0	0	0	0	0	0	0	
30	40	0	0	0	0	0	5	1	
40	50	0	0	0	0	0	3	1	
50	60	0	0	0	6	8	3	4	
60	70	0	0	0	5	10	3	4	
70	80	0	0	0	8	8	3	4	
80	90	0	0	0	8	6	3	4	
90	100	0	0	0	10	5	3	4	
100	110	0	0	0	11	9	4	6	
110	120	0	0	0	11	9	4	6	
120	130	0	0	0	14	12	5	7	
130	140	0	0	0	13	12	5	7	
140	150	0	0	0	13	12	5	7	
150	160	0	0	0	14	15	6	8	
160	170	0	0	0	14	16	6	8	
170	180	0	0	0	14	16	6	8	
180	190	0	0	0	16	15	6	8	
190	200	0	0	0	19	20	8	11	
200	210	0	0	0	19	21	8	11	
210	220	0	0	0	19	22	8	11	
220	230	0	0	0	18	24	8	12	
Media		0	0	0	10	10	Obs: medicion se hizo		
Desv. Estan.		0	0	0	7	7	en dos días		

Tabla I5: Resumen de datos y observaciones ambientales registrados para segundo día de sondaje 3.

Sondaje 1				
Punto	Altura tramo	Longitud X	altura y	Cota Tramo
1-1	60	246	0	-60
1-2	30	184	79	49
1-3	40	123	158	118
1-4	40	61	237	197
1-5	30	0	316	286

Tabla I6: Datos y observaciones ambientales registrados para segundo día de sondaje 3.

Sondaje 2				
Punto	Altura tramo	Longitud X	Altura y	Cota
2-1	80	246	0	-80
2-2	40	184	79	39
2-3	50	123	158	108
2-4	50	61	237	187
2-5	40	0	316	276

Tabla I7: Datos y observaciones ambientales registrados para segundo día de sondaje 3.

Sondaje 3				
Punto	Altura tramo	Longitud X	altura y	Cota
3-1	80	246	0	-80
3-2	70	184	79	9
3-3	80	123	158	78
3-4	50	61	237	187
3-5	30	0	316	286

ANEXO J: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE METODOLOGÍA DE TRABAJO.

En el presente anexo se adjuntara el registro fotográfico de la metodología de trabajo propuesta en el capítulo 3 del cuerpo principal. Las imágenes serán presentadas en orden cronológico para facilitar la comprensión de la metodología propuesta.



Figura J1: Realización de corte de maleza para delimitar zona de trabajo.



Figura J2: Corte y relleno de material durante el proceso de reperfilado de la superficie del talud.



Figura J3: Etapas del proceso de compactación durante el reperfilado.



Figura J4: Realización de ensayo para obtener el coeficiente de infiltración del suelo mediante el método PORCHET.



Figura J5: Ubicación de pluviómetro en la zona de trabajo.

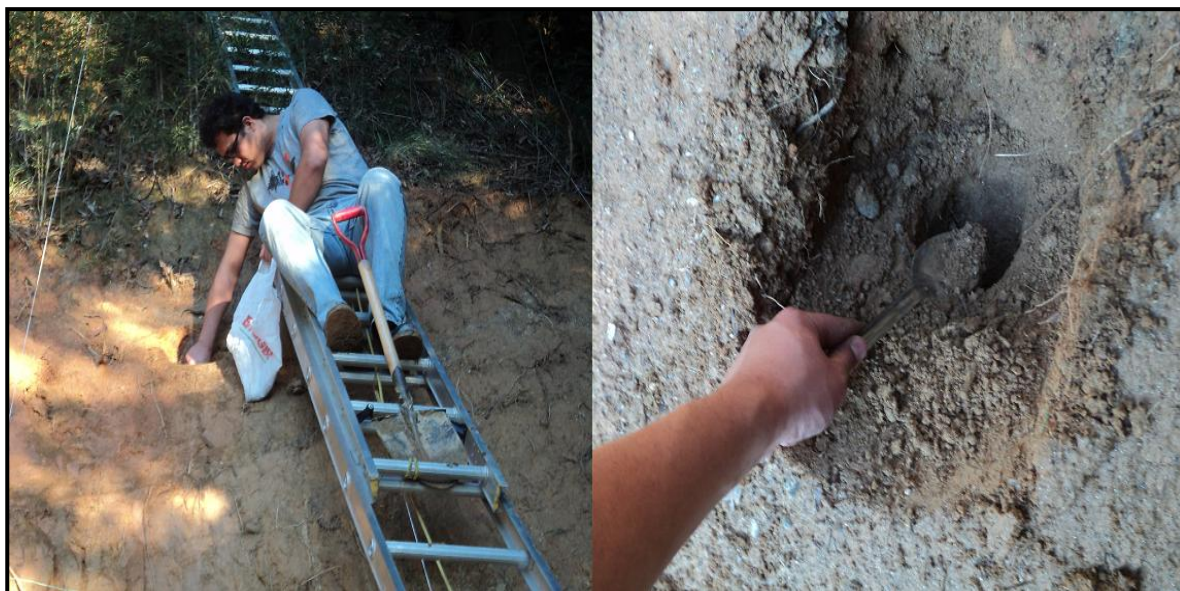


Figura J6: Toma de muestra para caracterización del suelo utilizado.



Figura J7: Realización de ensayos en laboratorio de mecánica de suelos para obtener clasificación y límites de Atterberg.



Figura J8: Finalización de proceso de demarcación de franjas de muestreo.



Figura J9: Montaje de plataforma metálica utilizada para soportar equipo de sondaje.



Figura J10: Instalación de cuerdas de seguridad previo al inicio de las mediciones.



Figura J11: imágenes durante realización de sondajes en distintos puntos del talud.



Figura J12: Retiro de barras luego de finalizado el sondaje en el punto muestreado.



Figura J13: Realización de ensayo PORCHET para obtener coeficiente de infiltración al término del estudio.