



**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA EN EL ÁREA MINERA “EL
CORAZÓN”, PARA EL DISEÑO DE UNA RELAVERA**

JOSÉ LUIS PESÁNTEZ AUCAY

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
“INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS”**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN-MORONA SANTIAGO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE GEOLOGÍA Y MINAS

MACAS – ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA QUE: el trabajo de investigación titulado “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA EN EL ÁREA MINERA EL CORAZÓN, PARA EL DISEÑO DE UNA RELAVERA”, De responsabilidad del Sr. Egresado José Luis Pesántez Aucay, ha sido prolijamente revisada quedando autorizada su presentación.

En la ciudad de Macas, a los 2 días del mes de Diciembre del 2014

Para constancia de lo actuado firman:

TRIBUNAL DE TESIS

Ing. Edgar Pino.

DIRECTOR

Ing. Henry Remache

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A mi querida e inigualable madre NORMA BEATRIZ AUCAY MALDONADO, quien con su amor, sabiduría y perseverancia ha hecho de mí una persona de bien y ha sido el pilar fundamental para alcanzar mis objetivos.

A mis hermanos quienes con su apoyo constante formaron parte de mi gran objetivo.

A mis familiares quienes con sus consejos han inculcado en mí los buenos valores, la responsabilidad y los deseos de alcanzar grandes cosas.

AGRADECIMIENTO

A DIOS, por haberme colmado de bendiciones, por fortalecer mi corazón cuando más lo necesito, por iluminar mi mente para resolver satisfactoriamente los problemas y sobre todo por haber puesto en mi camino personas únicas e incomparables.

A mi adorable familia, especialmente a mi abuelita y tíos que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos apoyándome incondicionalmente.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, a mis maestros que han sido parte fundamental de mi formación profesional.

Al Ingeniero Fernando Fierro por su confianza, consejos y motivación constante, por ser parte importante en el desarrollo profesional personal.

Al Ing. Edgar Pino, Miembro del Tribunal, quien amablemente me apoyó para la realización del presente trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial a los Ingenieros Bernardo Álvarez, Nelson Arias y Francisco Bonifaz por el apoyo para el presente trabajo de titulación

A mis amigos y compañeros de la ESPOCH, quienes me han permitido formar parte de su vida y compartir gratos momentos, gracias de todo corazón.

ABREVIATURAS Y SIGLAS

ASTM: American Society for Testing and Materials

ETo: Unidad El Tortugo.

Fs: Factor de Seguridad.

Fo: Factor de corrección.

GQd: Unidad Piñán.

IL: índice Plástico

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

KCo: Unidades Colorado

KMI: Unidad Mulaute

KN: Unidad Natividad.

KNa: Unidad Naranjal.

KPa: Unidad Pallatanga.

KPI: Unidad Pilatón.

KY: Unidad Yunguilla.

LL: Límite Líquido.

OMSJL: Unidad San Juan de Lachas.

PCc: La Cubera.

MH: Limo de alta plasticidad.

SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

SUCS: sistema unificado de clasificación de los suelos. Sociedad.

SPT: Test de penetración estándar.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS	i
LISTA DE GRÁFICOS	ii
LISTA DE FOTOS	iii
LISTA DE ANEXOS	iv
 CAPÍTULO	
I. TÍTULO	1
II. INTRODUCCIÓN	1
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
VI. CONCLUSIONES	61
VII. RECOMENDACIONES	63
VIII. ABSTRACTO	64
IX. SUMMARY	65
X. BIBLIOGRAFÍA	66

XI. ANEXOS

LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁG.
	Cuadro 1: Valores Resistividad Típica.....	13
	Cuadro 2: Factores de Seguridad para Cortes Mínimos	20
	Cuadro 3: Coordenadas de la Zona de Estudio.....	22
	Cuadro 4: Estaciones Meteorológicas Cercanas al Área de Estudio	22
	Cuadro 5: Valores Hidrometeorológicos de la Estación Chontal.....	25
	Cuadro 6: Humedad relativa media mensual (%)......	26
	Cuadro 7: Ubicación, Dirección y Profundidad de los SEV	30
	Cuadro 8: Resumen de los Geoestratos Determinados (SEV)	31
	Cuadro 9: Ubicación de los sondeos.....	34
	Cuadro 10: Nivel Freático de los Sondeos	37
	Cuadro 11: Propiedades Geomecánicas de las Unidades Geotécnicas.....	46
	Cuadro 12: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	48
	Cuadro 13: Características Geomecánicas del Talud 1	51
	Cuadro 14: Factor de Seguridad del Talud 1	52
	Cuadro 15: Características Geomecánicas del Talud 2	53
	Cuadro 16: Factor de Seguridad del Talud 2.....	54
	Cuadro 17: Características Geomecánicas del Talud 3	55
	Cuadro 18: Factor de Seguridad del Talud 3.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Nº	DESCRIPCIÓN	PÁG.
	Gráfico 1: Marco Geodinámico Regional	5
	Gráfico 2: Esquema de Ensayo de Lefranc	16
	Gráfico 3: Método Bishop – Superficie de Rotura Circular	19
	Gráfico 4: Método Janbú – Análisis del Factor Forma	20
	Gráfico 5: Ubicación General del Proyecto.....	21
	Gráfico 6: Histograma de Temperatura Media Mensual	23
	Gráfico 7: Histograma de Precipitaciones	25
	Gráfico 8: Microcuenca Río Verde Chico	45
	Gráfico 9: Mapa para Diseño Sísmico.....	47
	Gráfico 10: Sismicidad Histórica del Ecuador	48
	Gráfico 11: Sismos recientes	49
	Gráfico 12: Estado de Volcanes	50
	Gráfico 13: Diseño de Talud 1	52
	Gráfico 14: Método Janbú – Factor de Seguridad Talud 1.....	53
	Gráfico 15: Diseño del Talud 2	54
	Gráfico 16: Método Janbú – Factor de Seguridad Talud 2.....	55
	Gráfico 17: Diseño del Talud 3	56
	Gráfico 18: Método Bishop – Factor de Seguridad Talud 3.....	57
	Gráfico 19: Excavación de las Presas 1 y 2.....	61

LISTA DE FOTOS

Nº	DESCRIPCIÓN	PÁG.
Foto 1:	Instalación del equipo de resistividad eléctrica.....	29
Foto 2:	Vista del Centro del Sondaje Eléctrico Vertical 5	30
Foto 3:	Labores de Perforación Sondeo P1	34
Foto 4:	Recuperación de Muestra - Cuchara Partida (SPT)	35
Foto 5:	Ensayo de Test de Penetración Estándar.....	35
Foto 6:	Colocación del piezómetro.....	37
Foto 7:	Ensayo Lefranc en el Sondeo P2.....	38
Foto 8:	Medición del Caudal de Agua Absorbido.....	39
Foto 9:	Calicata CI-8	40
Foto 10:	Extracción de Muestras Inalteradas	41

LISTA DE ANEXOS

Nº	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1	ANEXO A: Glosario de Términos	68
2	ANEXO B: Log y Registro Fotográfico de los Sondeos	75
3	ANEXO C: Registros de Ensayos de Permeabilidad	79
4	ANEXO D: Descripción de Calicatas	89
5	ANEXO E: Resumen de Muestras Ensayadas	94
6	ANEXO F: Resultados de los Ensayos Realizados	96
7	ANEXO G: Mapas	136

I. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA EN EL ÁREA MINERA “EL CORAZÓN”, PARA EL DISEÑO DE UNA RELAVERA.

II. INTRODUCCIÓN

“Agroindustrial El Corazón” es una empresa minera privada, que viene desarrollando actividades de explotación y procesamiento de minerales polimetálicos desde hace 15 años aproximadamente; la extracción de minerales lo realiza a través de labores mineras subterráneas y posteriormente a partir del material arrancado se obtiene el oro y plata, a través de la cianurización en su planta de beneficio, ubicado en el mismo sector.

El material residual proveniente de la planta de beneficio, contiene elementos pesados nocivos para la salud, por lo que se necesita de áreas que presten altas condiciones de seguridad para su almacenamiento; surgiendo así la necesidad de obtener una base geológica-geotécnica adecuada y confiable para el diseño de una relavera, bajo este antecedente Agroindustrial El Corazón contrata los servicios de la Compañía TERRAHIDRO para la ejecución de los estudios geotécnicos, considerando su experiencia en este tipo de trabajos.

El presente trabajo detalla la investigación realizada, y se compone de 11 Capítulos:

El Capítulo I-II incluye el título del trabajo de investigación, los objetivos establecidos para el presente estudio que se han subdividido en generales como en específicos y su justificación.

El Capítulo III contiene la investigación del marco teórico que servirá de base para la realización del trabajo de titulación: se ha incluido el análisis de geología y tectonismo, geología estructural, geomorfología e hidrología a nivel regional, brindándonos una pauta de lo que se espera encontrar localmente y los fundamentos geotécnicos principales que se utilizarán en el presente trabajo

El Capítulo VI encierra la instrumentación y la metodología aplicada en el desarrollo del presente trabajo, utilizando diversas técnicas de investigación con el objeto de caracterizar geológica-geotécnicamente el sitio donde se implantara la relavera.

El Capítulo V recoge todos los resultados obtenidos de las investigaciones bibliográficas, de campo y experimental ejecutadas; luego del análisis se propone una alternativa de diseño para la construcción de la relavera.

El Capítulo VI registra las principales conclusiones en referencia a los aspectos geológicos-geotécnicos, hidrogeológicos investigados, así como de los parámetros de diseño de la alternativa propuesta.

El Capítulo VII contiene recomendaciones puntuales que se deben considerar durante la ejecución de la obra.

En los Capítulos VIII - XI se encuentra el resumen, Summary, Referencias Bibliográficas y los anexos correspondientes.

La construcción de la relavera beneficiará indirectamente a las comunidades aledañas al área minera, considerando que los habitantes en su gran mayoría laboran en la Compañía Agroindustrial; se estima que esta obra tendrá una capacidad de almacenamiento igual a 95.501,79 metros cúbicos, con un tiempo de vida aproximado de 5 años; tiempo en que esta relavera almacenará y tratará los desechos generados por la planta de beneficio, cumpliendo así con la reglamentación ambiental y el compromiso social.

A. OBJETIVOS

1. Objetivo General

Determinar las características geomecánicas significativas en el Área Minera El Corazón para el diseño de una relavera, la misma que almacenará el material residual proveniente de la Planta de Beneficio.

2. Objetivo específicos

- a) Definir y describir las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio.
- b) Determinar las características geológicas y geotécnicas mediante el análisis de resultados de los ensayos de laboratorio.
- c) Sugerir el área apropiada donde se realizará el diseño de la relavera.

B. JUSTIFICACIÓN

Las características geológicas – geotécnicas son decisivas a la hora de la implantación de un proyecto, de ahí que resulta de vital importancia la interpretación y aproximación a las condiciones físicas del subsuelo, ya que serán estas las que rijan a la hora de cuantificar rubros o calcular estructuras que garanticen la estabilidad del proyecto y sobre todo que salvaguarden la integridad de las personas que trabajarán en la construcción y a posteriori las que se encarguen de manejar y cuidar el proyecto

El aporte del presente trabajo será entregar datos confiables de las condiciones geotécnicas del suelo como la clasificación de suelos, grado de compacidad, ángulo de fricción interna, cohesión; todos y cada uno de estos debidamente justificados con la metodología empleada y sustentados con una base teórica firme.

Los datos que se presenten responde a la necesidad de la empresa minera de construir una relavera donde se depositará, almacenará y se tratará los desechos proveniente de la planta de beneficio, para el cuidado del ecosistema, cumpliendo así al compromiso social de una Minería Responsable.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO REGIONAL

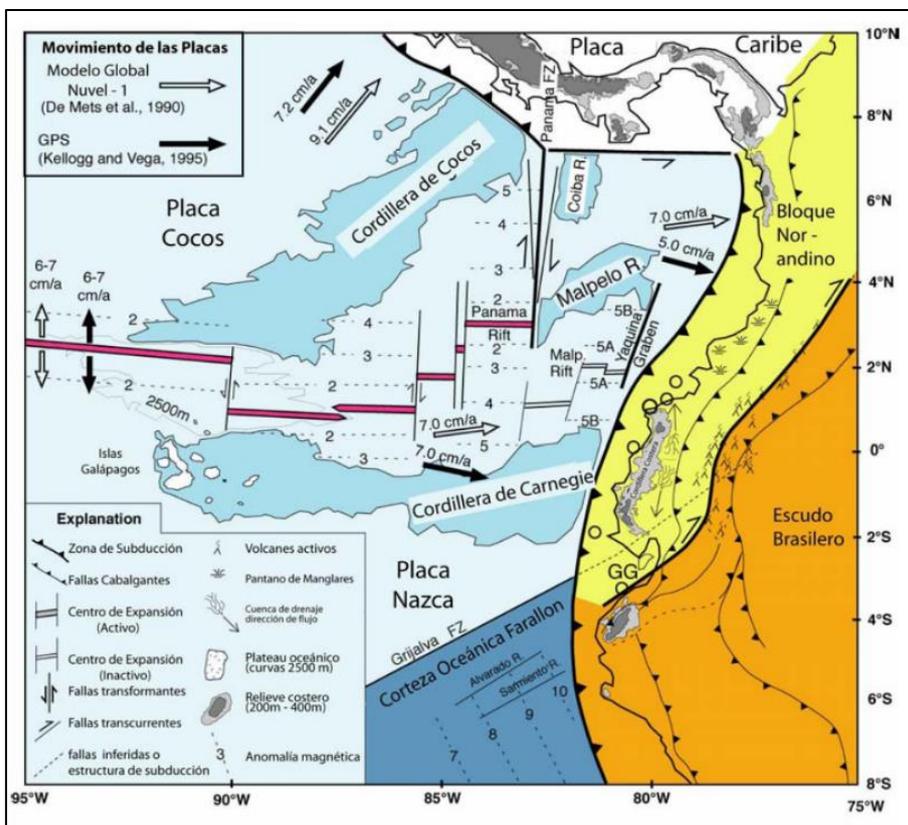
La mayor parte de Los Andes septentrionales ecuatorianos forma parte del bloque Norandino producto de la convergencia oblicua de las Placas Nazca y sudamericana, desde el Oligoceno Tardío. Este bloque es considerado una miniplaca que se desplaza, respecto a Sudamérica, a una velocidad de 6 a 10 mm/año y un rumbo promedio de N 45° E a N 55° E.

En el sector ecuatoriano, estos desplazamientos se producen principalmente a lo largo de las fallas intracontinentales Pallatanga, Calacalí y Chingual-La Sofía (Pennington, 1981; Kellogg & Bonini, 1982, Ego et al, 1993, 1996; Gutscher et al, 1999).

Un elemento tectónico importante, en el ambiente geodinámico regional, es la Cordillera de Carnegie ubicada entre las latitudes 0° y 2° S, formada sobre la Placa Nazca a partir del “hot spot” Galápagos, desde donde es transportada hacia el este hasta alcanzar la fosa oceánica.

La colisión y acoplamiento de esta cordillera han influenciado en la sismicidad, volcanismo y en la deformación de Los Andes así como también en el movimiento del bloque Norandino. Trabajos realizados a partir del estudio de la combinación de tasas de convergencia y exhumación en las cordilleras sugieren que la colisión inicial fue hace más o menos 15 Ma y la subducción del Carnegie hace unos 9 Ma (Spinkings, 2001).

Gráfico 1: Marco Geodinámico Regional



Fuente: Silva 2007, Modificado de Gutscher 1999.

La colisión de las placas tectónicas también generó la formación de la Cordillera de Los Andes conformada por dos cadenas montañosas paralelas, la Cordillera Occidental y la Real u Oriental que limitan al Valle Interandino. La región de implantación del diseño de la piscina de relaves para Agroindustrial S.A se encuentra en la vertiente de la Cordillera Occidental, en el tramo medio y bajo de la Cuenca hidrográfica del río Guayllabamba que drena un amplio segmento de la Cordillera de Los Andes.

El núcleo de la Cordillera Occidental está conformado por terrenos oceánicos progresivamente acrecionados al margen continental durante el Cretácico Tardío y posiblemente hasta el Paleoceno, la sutura formada en este tiempo podría ser el Sistema de Fallas Toachi o la zona de cizallamiento Mulaute que se encuentra muy cercana de donde se implantará la piscina de relaves (Ver Anexo G-1 & G-2). Parte de este núcleo, en el extremo oriental de la Cordillera Occidental está formado por fajas y lentes tectónicamente emplazados en el cual se alternan los siguientes:

Secuencia de rocas máficas y ultramáficas de afinidad oceánica expuestas en una serie de lajas tectónicas a lo largo del borde oriental de la Cordillera Occidental pertenecen la Unidad Pallatanga (KPa), aunque la edad no está muy bien definida, por correlaciones estratigráficas con la Formación Piñón indica que es de edad Santoniano-Campaniano; limolitas y lutitas predominantemente de colores negros y grises, finamente estratificadas, depositadas en un ambiente de abanicos submarinos son depósitos característicos de la Unidad Yunguilla (KY) del Cretácico Tardío; Areniscas, limolitas y cherts depositados en un ambiente marino turbidítico, con un aporte volcánico importante, pertenecientes a la Unidad Natividad (KN) de edad Campaniano-Maastrichtiano

Inmediatamente hacia el occidente del conjunto litotectónico Pallatanga-Yunguilla - Natividad, tectónicamente emplazado, se encuentra la Unidad Silante de edad Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano (EOSI) (DINAGE & BGS, 1998) formada en un ambiente continental. Está compuesta por brechas y conglomerados en la parte oriental, hacia el occidente se encuentra una secuencia de lutitas, areniscas y brechas de colores rojizos, en la parte superior de la secuencia son dominantes las areniscas líticas y cuarzosas. La Unidad Silante se encuentra en un cinturón de 6 a 12 km de ancho, con un rumbo Noreste, hacia el occidente, tiene un contacto fallado con la Unidad Pilatón (KPI).

La Unidad Pilatón forma un cinturón de rumbo Noreste y un ancho que alcanza hasta los 14 km, está conformada por rocas volcano-sedimentarias que varían desde conglomerados y brechas hasta cherts negros depositados en ambientes muy diversos, desde abanico continental hasta abanicos submarinos. La edad de estos sedimentos es del Cretácico Tardío (Sigal, 1968; Reynaud et al, 1999). Un débil pero persistente clivaje tectónico se presenta en la mayor parte de la secuencia. El borde occidental de esta unidad se encuentra en contacto, no muy bien definido, con la Unidad Mulaute (KMI). Desde el sector de Nanegal, la cuenca media del Chirapi hasta la cuenca alta del Íntag, cerca de Piñán, esta Unidad es instruida por el Batolito de Apuela (GQd).

Hacia el noreste y sureste de Chontal-Magdalena aparece un cinturón de rocas sedimentarias metamorfizadas, la Unidad Mulaute, posiblemente del Cretácico Tardío-Paleoceno, que se orienta en dirección NE-SO. Está conformada por una serie cuyos

protolitos, entre sus extremos oriental y occidental, variaron desde brechas y areniscas de grano grueso hasta limonitas, lutitas oscuras y ocasionales calizas, respectivamente.

En contacto con la unidad Mulaute se encuentra la unidad Tortugo la misma que está limitada al este por la Falla de Toachi y aflora desde el Río Guayllabamba hacia el norte hasta el camino Salinas-Lita, donde se encuentra bien expuesta en el Río Lita. Consiste de areniscas masivas de grano grueso, intercaladas con lutitas de hasta 1 m. de espesor (Duque 2000).

Al occidente de la Falla Toachi el basamento ígneo está conformado por lavas almohadilladas basálticas, lavas andesíticas, intrusivos y brechas ígneas de edad Campaniana formadas en un ambiente de fondo marino y de arco de islas. Este conjunto, conocido como Unidad Naranjal (KNa), posteriormente fue acrecionado al margen continental. Sobre este fondo marino se habían formado cuencas volcanosedimentarias cuyos sedimentos han sido diferenciados como Unidades Colorado (KCo), La Cubera (PCc) y El Tortugo (ETo)

La Unidad Colorado (KCo) está compuesta por sedimentos Campanianos depositados por turbiditas marinas que forman un cinturón de 5 a 10 km de ancho en las estribaciones de la Cordillera. La Unidad La Cubera está compuesta por sedimentos depositados en ambientes pelágicos (cherts) que varían hasta areniscas formadas entre el Paleoceno Tardío y Eoceno Temprano.

Sobre la Unidad Cubera yace concordantemente la Unidad El Tortugo que se distribuye al occidente de la Unidad Mulaute formando un cinturón con un ancho variable entre 8 y 16 km. Está conformada por conglomerados, areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas y lutitas depositadas en un ambiente marino por flujos turbidíticos o en un ambiente deltaico durante el Eoceno Medio a Tardío.

Sobreyaciendo parcialmente sobre la Unidad el Tortugo se encuentra la Unidad San Juan de Lachas (OMSJL), la que incluye brechas con ocasionales intercalaciones de lavas y areniscas que en conjunto indicarían un ambiente de margen continental con un arco activo entre el Oligoceno y el Mioceno Temprano.

Un elemento importante en el contexto geológico regional lo constituye la intrusión del batolito de Apuela de edad Mioceno Temprano a Medio, una determinación dio $16,5 \pm 1,1$ millones de años (DINAGE & BGS, 1998), es una cuarzo diorita a diorita que intruye y metamorfiza a los sedimentos Mulaute y Pilatón.

En la parte alta de la Cordillera Occidental y tanto en el interior como en el borde de la cuenca hidrográfica del río Guayllabamba se ha generado una intensa y persistente actividad volcánica desde el Mioceno Tardío – Plioceno Temprano hasta el presente.

El río Guayllabamba ha sido la principal vía de evacuación y transporte de los productos volcánicos, tanto primarios como erosionados, los cuales han rellenado progresivamente el valle del río Guayllabamba y sus afluentes generando grandes terrazas (QT).

B. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructuralmente, las formaciones mesozoicas mantienen una dirección entre norte y noreste, a causa del carácter cambiante de la foliación y estratificación. Se pueden inferir pliegues sin que se haya determinado sus ejes regionales.

Los buzamientos son fuertes y generalmente hacia Este. La formación Macuchi en general se presenta masiva, sin definir estructuras, sus contactos son buenos y el fracturamiento aumenta hacia el Oeste en la zona de Pacto.

El diaclasamiento en los metasedimentos Chontal es mayor en las pizarras que en las cuarcitas. Las rocas plio-cuaternarias presentan estratificación casi horizontal; debido a la suavidad del terreno es común observar grandes escarpas bastante alineadas por lo que sugieren fallas recientes. Es importante destacar que el emplazamiento del batolito Apuela – Nanegal ha perturbado las rocas, principalmente a las encajantes de la formación Macuchi.

Las estructuras identificadas que tienen influencia indirecta sobre la obra que se implantara, en función de la cercanía al proyecto son:

- Falla Toachi
- Sistema de Fallas Apuela
- Falla Nanegalito

Estas estructuras tectónicas tienen rumbos muy parecidos que varían entre N 30° E y N 50° E (ver Anexo G-2). La distribución de las unidades geológicas pre-Cuaternarias se encuentra influenciada por la cinemática de las estructuras tectónicas, particularmente por la Falla Toachi.

- El Sistema Toachi representa la estructura tectónica más importante para el Proyecto, la cual genera uno de los rasgos morfológicos más visibles en la región. A partir de esta estructura fundamental, se generan varias estructuras secundarias que forman zonas de escamas asociadas. La zona de falla se localiza aproximadamente entre 1 y 1.5 km al Este, de la zona donde se implantará la piscina de relaves.
- El sistema de fallas Apuela se ubica hacia el Este de la zona del Proyecto; un rumbo promedio de N 49° E y su inclinación es desconocida; la longitud varía entre 50 y 70 Km; de los estudios realizados se ha identificado que esta falla se compone de 3 secciones con rumbos parecidos; la tasa de movimiento es desconocida aunque se estima que podría ser 1 mm por año. Con respecto al proyecto este sistema de fallas se localiza entre 20 y 23 km del sitio donde se implantará la piscina de relaves
- Falla Nanegalito se localiza hacia el Sur Este de la zona del proyecto, aproximadamente a 30 km del área de estudio; tiene una longitud de 44 km aproximadamente, un rumbo promedio de N 37° E y su inclinación es desconocida; la tasa de movimiento de esta falla oscila entre 1 a 5 mm por año. El ancho de la zona de falla es de 1,5 km aproximadamente.

C. GEOMORFOLOGÍA

En la zona de estudio prevalecen dos tipos de unidades geomorfológicas, definidas como “Colinas Medias” que destacan hacia el occidente de la zona, y “Relieves Escarpados” que son mayormente visibles al oriente del área.

Como consecuencia de la acción de los fenómenos erosivos tanto eólicos como fluviales, las unidades geomorfológicas ostentan diferentes perfiles, ya sean regulares o bien irregulares, es decir, con ruptura de pendiente. Así mismo, la vegetación, la superficie, el desnivel, las diferentes altitudes, determinan las características locales de cada unidad geomorfológica.

D. HIDROLOGÍA

El análisis del sistema hidrográfico es el aspecto importante en el área donde realiza las actividades mineras. Por tal motivo, es necesario delimitar la red hídrica, con sus cuencas, subcuencas y microcuencas, para analizar su forma, comportamiento y la aplicación de medidas de prevención o remediación de ser el caso.

El área de influencia de la mina El Corazón, se encuentra dentro de la microcuenca del Río Verde Chico, afluente derecho del río Verde, el río Verde es a su vez afluente del río Guayllabamba, formando parte de la Gran Cuenca Hidrográfica Guayllabamba – Esmeraldas que desemboca en el Océano Pacífico (Ver Anexo G-3).

La quebrada Verde Chico, nace de la unión de una serie de ramales pequeños que tienen sus cabeceras en el sector conocido como TRES X dentro de la concesión minera El Corazón (Ver Gráfico 8). La Quebrada Verde Chico fluye con una dirección aproximada Noreste – Suroeste. Es necesario mencionar que la quebrada Verde Chico, constituye el cuerpo receptor de las actividades de explotación y beneficio formando parte del área de influencia de las actividades que se desarrollan en la mina y que por lo tanto es objeto de monitoreo periódico.

Los drenajes son del tipo dendrítico y subparalelo y tienen un control estructural NE – SW preferencialmente y N-S en segundo orden, y forman valles juveniles en “V”, tanto los drenajes principales y los secundarios tienen agua permanente tanto en verano como en invierno, aunque en el verano los caudales son menores.

1. Microcuenca Río Verde Chico

Ocupa un área de drenaje de aproximadamente 7,2 Km², la longitud del cauce es de aproximadamente 4,2 Km, la pendiente del cauce es de aproximadamente 0,5 %. El caudal promedio del río Verde Chico es aproximadamente 480 litros/seg, con una velocidad de flujo de 0,60 m/seg., un ancho promedio de 4 m y una profundidad promedio de 0,20 m, flujo turbulento. La altura máxima en los nacimientos de la quebrada Verde Chico es 1200 msnm y la cota más baja en su unión con el río Verde es 600 msnm.

a. Quebrada Verde Chico

Se determinó el caudal de la quebrada Verde Chico mediante el método área-velocidad (con uso de flotadores) $Q = V \times A$, determinándose un caudal promedio de 50 lt/s, con una velocidad de flujo de 0,50 m/s, un ancho promedio de 1 metro y una profundidad promedio de 0,10 m, es de flujo turbulento.

b. Quebrada 3X

Afluente del Río Verde Chico, constituye el cuerpo receptor de todos los efluentes que se generan en el área de campamento y drenaje de mina.

Constituye uno de los puntos de monitoreo periódicos que realiza la empresa auditada: Se determinó por el método área-velocidad (con uso de flotadores) $Q = V \times A$, determinándose un caudal promedio de 388,74 litros/seg, con una velocidad de flujo de 0,836 m/seg, un ancho promedio de 2,5 metros y una profundidad promedio de 18,6 cm.

E. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Las investigaciones in situ constituyen la parte esencial de los estudios geológicos geotécnicos para cualquier obra de ingeniería, que tienen como objetivo principal determinar parámetros y propiedades fundamentales de los materiales que definirán las condiciones del terreno en donde se implantará el proyecto. Las investigaciones in situ deberán ir en cada fase de estudio de cualquier proyecto, siendo en las etapas finales de diseño donde se intensifique las mismas, realizando cada una de estas con mayor proximidad, de esta forma se podrá obtener detalles puntuales de los diferentes sitios donde se implantaran las obras del proyecto.

A continuación se describen las bases teóricas de algunos de estos ensayos, que se efectuaron en el área donde se asentará la relavera; es importante señalar que las investigaciones in situ permiten obtener resultados puntuales del lugar de estudio, la interpretación y correlación de las mismas serán estrictamente marcadas a la experiencia del técnico que las interpreta.

1. Investigaciones In situ

a. Prospección geofísica

El método de investigación indirecta denominado prospección geofísica ha desarrollado algunas metodologías para determinar e inferir las características del subsuelo en profundidad; una de ellas son los sondeos eléctricos verticales que permiten identificar en función de la resistividad eléctrica las condiciones del subsuelo, obteniendo algunos parámetros de los estratos presentes.

El objetivo principal de los Sondajes Eléctricos Verticales es determinar la disposición de los diferentes estratos existentes bajo el nivel del suelo, en relación vertical descendente, con la finalidad de determinar la naturaleza, morfología y profundidad de las capas geológicas así como su probable litología.

En el Cuadro 1, se presentan los valores de resistividad real típicos para algunas de las rocas y sedimentos saturados o no, que se encuentran más frecuentemente dentro de la corteza terrestre.

Cuadro 1: Valores Resistividad Típica

Material	Resistividad (Ωm)
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Basamento. Roca fracturada	1500-5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito no saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10

Fuente: Universidad Nacional, (2000).

La resistividad de las arenas y gravas puede variar mucho según la cantidad de agua que contienen y la calidad de la misma, por lo cual no se puede dar cifras concretas. Pero es de mucho interés conocer que cuando están secas pueden alcanzar valores hasta de 105 Ohm-m y de 0.01 Ohm-m sí el agua es salada.

b. Sondeos Geotécnicos

El Sondeo geotécnico es un tipo de prospección manual o mecánica, perteneciente a las técnicas de reconocimiento geotécnico del terreno, llevadas a cabo para conocer sus características. Se trata de perforaciones de pequeño diámetro que aunque no permiten la visión "in situ" del terreno, de estas se pueden obtener testigos o fragmentos de roca del terreno perforado, así como muestras, y realizar determinados ensayos en su interior.

La importancia de plantear los sondeos mecánicos conlleva a plantear algunas implicaciones que a continuación se detallan.

- Alcanzar profundidades superiores a las que se consiguen con calicatas.
- Reconocer el terreno bajo el nivel freático.
- Atravesar capas rocosas o de suelo muy resistente.
- Realizar ensayos "in situ" específicos, como el ensayo de penetración estándar SPT, ensayos de permeabilidad, resistividad eléctrica entre otros.

Un factor que es importante definir, antes de realizar un sondeo, es la ubicación del mismo, esta deberá tomar en cuenta el objetivo que se busca alcanzar, no puede darse el caso que estas se ubiquen fuera del área de interés a excepción de que se quiera estudiar sitios contiguos con la finalidad de implantar otro tipo de obras en un futuro.

De acuerdo a la necesidad, factibilidad y objeto de estudio los sondeos se los puede clasificar como:

- Sondeo a presión
- Sondeo a percusión o golpeo
- Sondeo a rotación con barrena helicoidal, maciza o hueca
- Sondeo a rotación con extracción de testigo continuo.
- Sondeo mediante métodos destructivos

Por las condiciones del terreno y el objeto de estudio para el Diseño de la relavera se realizó perforaciones a rotación con recuperación de testigos en suelos duros y a rotación con barrena helicoidal en suelos blandos.

c. Calicatas

Son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente a mano.

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa.

Las características de las calicatas son:

- Una inspección visual del terreno "in situ".
- Toma de muestras.
- Realización de algún ensayo de campo

Todo el trabajo de campo debe ir acompañado con un registro litológico que permita la construcción de columnas estratigráficas que posteriormente se podrán correlacionar y obtener un perfil geológico a detalle del sector de estudio.

d. Ensayos in situ

1) Test de Penetración Estándar

El ensayo S.P.T. (Test de Penetración Estándar) consiste básicamente en contar el número de golpes (N) que se necesitan para introducir dentro un estrato de suelo, un toma-muestras (cuchara partida) de 30 cm. de largo, a diferentes profundidades (generalmente con variación de metro en metro). El toma-muestras es golpeado bajo energía constante, con una maza en caída libre de 140 lb. (33.5 Kg.), desde una altura de caída igual a 30 plg. (76,2 cm.).

El ensayo SPT puede ejecutarse prácticamente en todo tipo de suelos, incluso en rocas alteradas.

La frecuencia habitual para la realización del SPT a lo largo del sondeo es de un ensayo cada 2 a 5 m o incluso mayor.

En ocasiones dada la alta resistencia del terreno, no se consigue el avance del tomamuestras. En estos casos, el ensayo se suspende cuando exceden 50 golpes para avanzar un tramo de 15cm, y se considera rechazo.

El uso extendido del SPT ha permitido correlacionar con algunos parámetros geomecánicos como son el ángulo de fricción interna, la compacidad y la cohesión entre los más importantes.

2) Ensayos de Permeabilidad

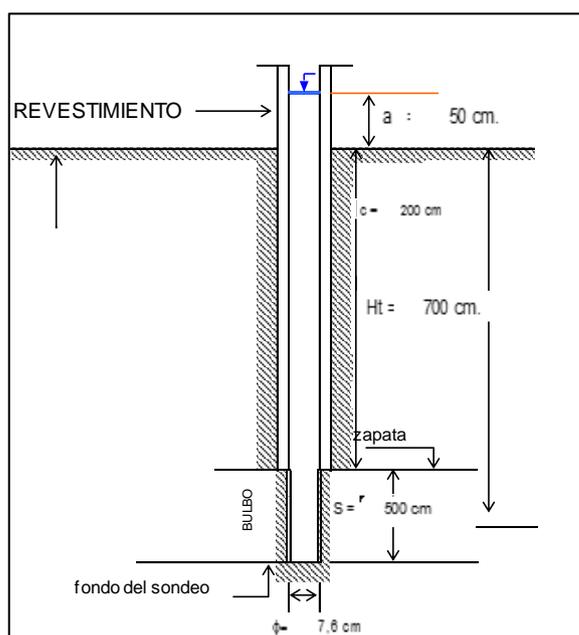
El ensayo Lefranc se utiliza para medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables o semipermeables, de tipo granular, situados por debajo del nivel freático y

en rocas muy fracturadas. El ensayo se efectúa en el interior de sondeos y puede realizarse durante la ejecución de la perforación o una vez que haya finalizado.

El procedimiento puede ser determinado de dos maneras, el primero consiste en rellenar de agua el sondeo y medir el caudal necesario para mantener el nivel constante, este se denomina ensayo a régimen constante, el segundo se efectúa midiendo la velocidad de descensos del nivel de agua denominado ensayo a régimen variable.

Antes de realizar el sondeo es necesario llenar de agua el sondeo, verificando que el aire sea expulsado y que se establezca el nivel y la velocidad de descenso en el sondeo.

Gráfico 2: Esquema de Ensayo de Lefranc



Fuente: Cía. Terrahidro.

$$k = \frac{Q}{(C\Delta h)}$$

Donde:

- Q es el caudal admitido (m^3/s).
- Δh es la altura en metros del agua sobre el nivel piezómetro inicial.
- C es el coeficiente de forma del sondeo, definido por la expresión:

$$C = 4\pi \left[\left(\frac{2}{L} \right) \text{Log} \left(\frac{L}{r} \right) - (1/H) \right]$$

2. Diseño de taludes

Generalmente las obras de ingeniería que requieren la construcción de superficies planas en zonas de pendientes, precisan la excavación de taludes, siendo el diseño de taludes uno de los aspectos más importantes en estas obras.

El diseño de taludes debe ir enmarcado a ser estable a lo largo del tiempo; el punto de partida para determinar el diseño óptimo de un talud ira encaminado en función de las características, geológicas y físicas de los materiales en donde se desee implantar el diseño; características como la cohesión, ángulo de fricción interna, compacidad, granulometría entre otros servirán para estimar la estabilidad de taludes por los diferentes métodos actualmente existentes, a continuación se realiza una breve descripción de los métodos para análisis de taludes.

Las técnicas de análisis son divididas en dos categorías: métodos determinísticos, los cuáles la medida de la seguridad del talud es hecha en términos de un factor de seguridad; y métodos probabilísticos, en que la medida de seguridad es hecha en términos de la probabilidad o del riesgo de ocurrencia de la ruptura (Muñoz, B; 2007).

Los métodos determinísticos incorporan las siguientes hipótesis: la superficie potencial de falla es previamente conocida o arbitraria; la masa de suelo se encuentra en condiciones inminentes de ruptura generalizada (es decir, equilibrio límite); el criterio de ruptura de Mohr-Coulomb es satisfecho a lo largo de toda la superficie de ruptura; y el factor de seguridad es único a lo largo de la superficie potencial de ruptura. Una revisión crítica de los principales métodos de análisis por equilibrio límite fue presentada por Whitman y Bailey (1967). Estos métodos pueden ser divididos en dos grupos principales:

Métodos de las tajadas: la masa inestable de suelo es dividida en tajadas verticales, pudiendo la superficie potencial de falla ser circular o poligonal. Ejemplos de métodos con superficie circular: Fellenius (1936), Taylor (1949) y Bishop (1955). Ejemplos con superficie cualquiera: Janbú (1973), Morgenstern y Price (1965) y Spencer (1967);

Métodos de las cuñas: emplean la técnica de dividir el material en cuñas con inclinaciones variables en las interfaces y superficie de ruptura poligonal. Ejemplos: métodos de Sultany Seed (1967), Martins et al. (1979), Kovari y Fritz (1978) y Sarma (1979).

Para el caso de Diseño de la Piscina de Relaves se utiliza el programa SLIDE 5.0, el mismo que arroja resultados de análisis de estabilidad de taludes con métodos determinísticos, en tajadas o dovelas que son Bishop, Janbú, Price y Morgenstern refiriéndose a la formulación teórica únicamente a los dos primeros métodos, con la finalidad de puntualizar al objeto de estudio únicamente.

a. Método de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas. La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión:

$$FS = \frac{\sum [C' b + (W - ub) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha} \quad ma = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi'}{FS} \right)$$

Donde:

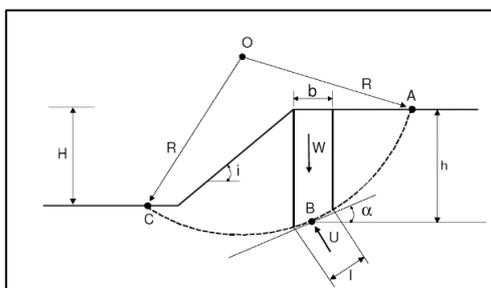
- b = Ancho de la Dovela
- W = Peso de cada dovela
- C', ϕ' = Parámetros de resistencia del suelo.
- u = Presión de poros en la base de cada dovela = $\gamma_w \gamma_w h_w h_w x$
- α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

Como se puede observar en la ecuación, el término factor de seguridad FS se encuentra tanto en la izquierda como en la derecha de la ecuación; se requiere un proceso de interacción para calcular el factor de seguridad.

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes. Aunque el método sólo satisface el equilibrio de momentos, se considera que los resultados son muy precisos en comparación con el método ordinario.

Aunque existen métodos de mayor precisión que el método de Bishop, las diferencias de los factores de seguridad calculados, no son grandes. La principal restricción del método de Bishop simplificado, es que solamente considera las superficies circulares. (Jaime Suarez, 2002).

Gráfico 3: Método Bishop – Superficie de Rotura Circular



Fuente: Suarez, J (2002).

b. Método de Janbú

El método simplificado de Janbú se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante. Janbú considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección f_0 . El factor f_0 depende de la curvatura de la superficie de falla. Estos factores de corrección son solamente aproximados y se basan en análisis de 30 a 40 casos.

En algunos casos, la suposición de f_0 puede ser una fuente de inexactitud en el cálculo del factor de seguridad. Sin embargo, para algunos taludes la consideración de este factor de curvatura representa el mejoramiento del análisis.

El método de Janbú solamente satisface el equilibrio de esfuerzos y no satisface el equilibrio de momentos. De acuerdo con Janbú (ecuación modificada):

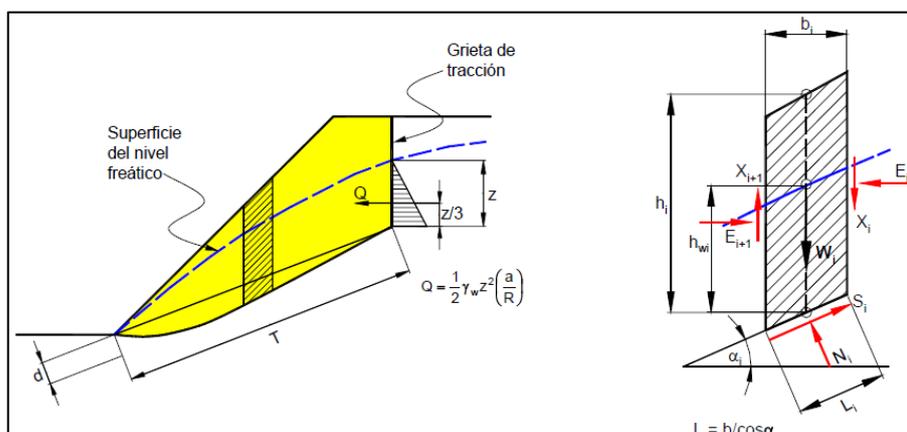
$$FS = \frac{f_0 \sum \{ [c' b + (W - ub) \tan \phi] \frac{1}{\cos \alpha m a} \}}{\sum W \tan \alpha}$$

Donde:

- f_0 = depende de la curvatura de la superficie de falla

$$m a = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{FS} \right)$$

- b = Ancho de la Dovela.
- W = Peso de cada dovela.
- C' , ϕ = Parámetros de resistencia del suelo.
- u = Presión de poros en la base de cada dovela = $\gamma_w \gamma_w h_w h_w x$.
- α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

Gráfico 4: Método Janbú – Análisis del Factor Forma

Fuente: Suarez, J (2002).

c. Factor de Seguridad

La selección de los factores de seguridad debe justificarse plenamente teniendo en cuenta:

- La magnitud de la obra.
- Las consecuencias de una posible falla en la edificación o sus cimentaciones.
- La calidad de la información disponible en materia de suelos.

Cuadro 2: Factores de Seguridad para Cortes Mínimos

CONDICIÓN	FS - CORTE MÍNIMO	
	DISEÑO	CONSTRUCCIÓN
Carga Muerta + Carga Viva Nominal	1,5	1,25
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1,25	1,1
Carga Muerta + Carga Viva Nominal + Sismo de Diseño Pseudo Estático	1,1	1
Taludes - Condición Estática y Agua Subterránea	1,5	1,25
Taludes - Condición Pseudo Estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1,05	1

Fuente: Norma Ecuatoriana de la construcción.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

1. Localización

El área a evaluarse se encuentra en la Concesión Minera El Corazón perteneciente a la Empresa Agroindustrial, ubicada al occidente de la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, parroquia García Moreno próxima a las comunas El Corazón y Magdalena.

Gráfico 5: Ubicación General del Proyecto



Fuente: Pesántez, J (2014).

El acceso se lo realiza a través de la vía de primer orden que une las ciudades de Quito con Calacalí hasta Nanegalito, donde una vía de segundo orden conecta Nanegalito con Tulipe, Gualea, hasta Pacto; a partir de allí se transita por caminos de tercer y cuarto orden que se dirigen hacia el norte y nororiente, conduciendo hasta las poblaciones de Chontal – Magdalena - El Corazón, sitio en donde se ha realizado el presente trabajo de investigación.

2. Ubicación geográfica

El área objeto del estudio tiene una extensión aproximada de 9 hectáreas y está circunscrita en las coordenadas UTM: los vértices según el Datum provisional sudamericano (PSAD – 56), son las siguientes:

Cuadro 3: Coordenadas de la Zona de Estudio

Punto	Longitud	Latitud
PP	744.500	10.028.600
1	744.200	10.028.600
2	744.200	10.028.900
3	744.500	10.028.900

Elaboración: Pesantez, J (2014)

3. Características meteorológicas¹

La información meteorológica proviene de la red de estaciones instalada por el INAMHI (estación El Chontal Alto y San miguel de los Bancos). A continuación se detalla las estaciones que se utilizaron en el presente análisis:

Cuadro 4: Estaciones Meteorológicas Cercanas al Área de Estudio

CÓDIGO	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)	TIPO
M-524	CHONTAL ALTO	00°16'00" N	78°45'00" W	1300	Meteor.
M-216	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	00°01'00" N	78°53'24" W	1115	Meteor.

a. Temperatura

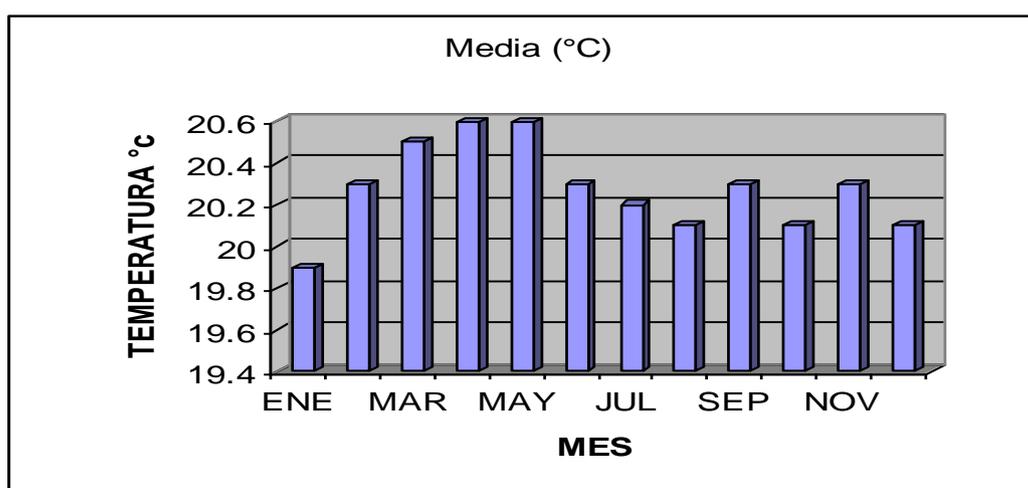
El clima es el resultado de una serie de condiciones típicas que se presentan en una zona o región como son: precipitación, temperatura, evaporación, humedad relativa, heliofanía, nubosidad, dirección y velocidad del viento. La caracterización climática constituye un aspecto muy importante a ser considerado ya que en los estudios del medio físico se relacionan con las geoformas, recurso hídrico, tipos de suelos, su uso y grado de erosión y en el estudio del medio biótico se relacionan con los tipos de vegetación, épocas de floración y producción de semillas y plántulas, en el caso de la fauna interviene en los patrones de producción, nidificación, cría, y migraciones locales y regionales de especies.

¹Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), registros obtenidos desde 1960-2010; Elaboración: Equipo Consultor 2011.

Para la determinación del tipo de clima del área de influencia, se ha utilizado la siguiente metodología: Principalmente y de conformidad al tipo de estudio a realizar, se escogieron los parámetros meteorológicos que intervienen en la formación de las características climatológicas de la región de estudio; se procedió a la recopilación de series de datos registrados en las estaciones climatológicas más cercanas del área minera “EL CORAZÓN” que corresponden a las estaciones Chontal Alto y San Miguel de Los Bancos (ver Cuadro 4), cuya información es la más representativa de la zona y que cubren el área de influencia de la zona de estudio.

En el siguiente gráfico, se presenta los valores promedios de temperatura mensual:

Gráfico 6: Histograma de Temperatura Media Mensual



Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), registros obtenidos desde 1960-2010; Elaboración: Equipo Consultor 2011.

En la estación San Miguel de Los Bancos se registra una temperatura media anual (período 2000-2010) de 20,3 °C. Por lo tanto presenta un clima subtropical. Las temperaturas medias permanecen casi constantes durante la mayor parte del año, en un rango que varía entre 19,9 y 20,6 °C.

Con respecto a las temperaturas máximas, en el período de 2000 A 2010 se registra un promedio anual de 26,8°C. Las temperaturas máximas alcanzan los 29 °C y se presentan especialmente en el mes de agosto.

La temperatura mínima absoluta en el período de 2000 - 2010 registra un promedio anual de 14,9°C.

Se trata de una zona de alta humedad relativa con poca variabilidad, tiene un promedio multianual de 93%, con valores máximos y mínimos que oscilan entre 88% y 99%. Los valores altos de humedad relativa se deben a la presencia casi permanente de neblina en la zona de estudio, esto permite que el suelo a determinadas horas del día se encuentre húmedo.

En la zona de influencia del área minera “EL CORAZÓN”, los vientos predominantes provienen del S (sur) y S-W (suroeste) de acuerdo a la frecuencia de dirección que se registra en la estación San Miguel de Los Bancos.

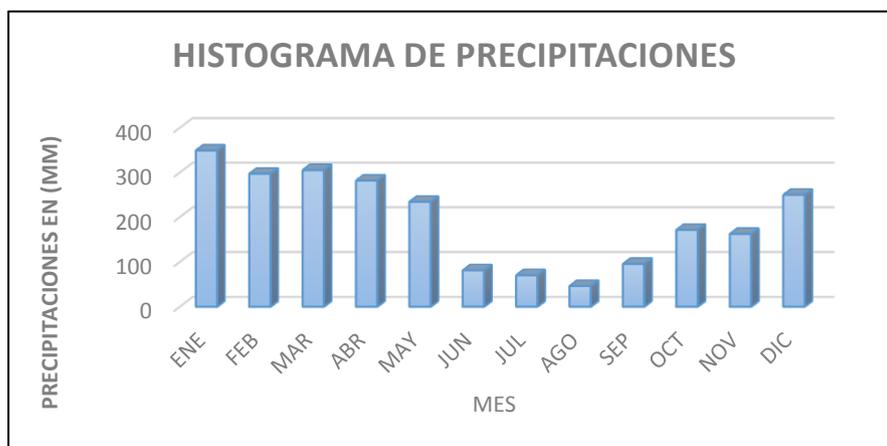
De acuerdo al análisis climatológico y a los valores obtenidos, el clima corresponde región bioclimática lluviosa Sub- tropical de bosque muy húmedo Pre-Montano, con un balance hídrico positivo en todos los meses.

b. Precipitación

Las lluvias se presentan durante todo el año y en todas las estaciones o épocas, siendo su promedio multianual en la Estación Chontal de 2342,6 mm (período 2007), y un valor medio mensual de 195,2 mm. La precipitación en este sector fluctúa mensualmente entre 46 mm hasta 349 mm, que lo caracteriza como una región bioclimática lluviosa subtropical de bosque muy húmedo Pre-Montano.

Existe una marcada diferencia entre las estaciones de verano e invierno. El exceso de agua (ver Gráfico 7) es notorio de enero a mayo y de octubre a diciembre. El déficit de agua no es considerable, y se presenta entre julio y agosto.

Las lluvias son altas a lo largo de todo el año, aunque la estación más húmeda se extiende de enero a mayo (donde alcanza valores promedios mensuales de hasta 349 mm). En los meses de junio, julio y agosto las precipitaciones disminuyen a valores mensuales que oscilan entre 81,1 y 46,0 mm, constituyéndose este período en una estación relativamente seca (ligero verano).

Gráfico 7: Histograma de Precipitaciones

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

La alta pluviosidad es la consecuencia de la superposición de lluvias de origen convencional de las partes bajas adyacentes y de lluvias tipo orográfico originadas por vientos que son obligados a ascender por estas vertientes y serranías. Mientras más radical es el cambio en la topografía la región se vuelve más y más lluviosa.

Cuadro 5: Valores Hidrometeorológicos de la Estación Chontal

MES	Prec. (mm)	Prec. Máx. En 24 H (mm)	Temp. Media (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Media viento (m/s)
ENE	349.0	66.6	19.9	95	4.0
FEB	296.9	80.2	20.3	94	5.5
MAR	305.1	105.1	20.5	93	5.7
ABR	281.6	81.5	20.6	94	6.7
MAY	234.0	84.1	20.6	93	5.7
JUN	81.1	36.1	20.3	92	5.3
JUL	70.1	34.6	20.2	92	5.1
AGO	46.0	20.6	20.1	91	5.4
SEP	95.3	42.6	20.3	93	4.5
OCT	171.2	42.3	20.1	93	5.7
NOV	162.2	53.4	20.3	93	5.1
DIC	249.6	59.3	20.1	94	4.4
SUMA	2342.6	706.9	243.7	1122	63.5
MED	195.2	58.9	20.3	93	5.3
Máxima	581.8	177.0	21.8	99	12.0
Mínima	7.1	6.4	19.0	88	2.0
Amplitud	574.7	170.6	2.8	11	10.0

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

El mes con mayor precipitación corresponde a enero con 349,0 mm, los meses menos lluviosos corresponden a julio y agosto que registran valores de 70,1mm, y 46,0 mm (ver Cuadro 5).

Los datos de precipitación media corresponden a la Estación Chontal Alto (más cercana al área de estudio); los demás parámetros pertenecen a la Estación San Miguel de Los Bancos, tomadas como representativas de la zona.

c. Humedad

En todo el territorio, la humedad relativa es alta, con valores medios anuales superiores al 70%, como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 6: Humedad relativa media mensual (%).

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
BOLIVAR - CARCHI - INHERI	85	83	83	84	82	81	80	78	78	79	82	80	81,25
SALINAS - IMBABURA	82	83	81	82	81	78	75	77	78	80	82	82	80,08
EL ANGEL	79	79	79	78	77	77	76	75	75	77	78	79	77,42

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

4. Características del suelo

El tipo de suelo que predomina en la zona es moderadamente grueso (areno – limoso) producto de la erosión y meteorización de rocas volcánicas y meta-sedimentarias de edad cretácica, de color gris - pardo, el mismo que típicamente corresponde a la parte media y baja de las vertientes de contacto entre el Callejón Interandino y la región costera, con relieves colinados que presentan una susceptibilidad entre moderada y alta a los fenómenos de erosión. Taxonómicamente pertenecen al tipo “Inceptisol”.

El 56,36 % del territorio es utilizado para la producción de cultivos y pastos, el 19,73 % de la parroquia se encuentra cubierta por bosque natural y un tercio del territorio está cubierto de vegetación natural: bosques naturales, vegetación arbustiva y páramos.

B. MATERIALES

1. Materiales de Oficina

Se utilizó una computadora, *Penh drive*, impresora, hojas de papel bond, grapadora, perforadora, calculadora, escalímetro, mapa topográfico y geológico, programas de modelación, Slide 5.0, ArcGIS y CivilCAD, otros materiales.

2. Materiales de Campo

Para realizar los trabajos de campo se necesitó de un vehículo 4x4, cámara digital, libreta de campo, brújula de geólogo, GPS, martillo de geólogo, cinta métrica, altímetro, lupas 10X y 20X, veleta, penetrómetro, accesorios para la toma de muestra, fichas de campo, equipos de perforación roto-percusión y SPT, geofísica y laboratorio, entre otros.

C. METODOLOGÍA

Para cumplir exitosamente con los objetivos planteados, se empleó la investigación científica, a través de técnicas de investigación: documental, de campo y experimental o de laboratorio; para lo cual se ha definido dos tipos de información, primaria y secundaria.

La información primaria o experimental es aquella que se obtiene de la aplicación de métodos y ensayos a partir de puntos de muestreo definidos en el campo, con la finalidad de obtener un resultado representativo.

Mientras que las fuentes secundarias son las que provienen de una actividad investigativa realizada por otro investigador, por grupo de investigadores o por instituciones especializadas y que han sido difundidas por algún medio.

1. Investigación documental

La primera actividad a efectuar fue la recolección y análisis de la documentación existente sobre la zona de estudio y sus alrededores, seguido de un reconocimiento in situ con el objeto de realizar una planificación adecuada de los trabajos de campos.

De esta manera la información secundaria para esta investigación está constituida por:

- Trabajos de investigación, realizados por la empresa.
- Libros.
- Tesis de Grado.
- Publicaciones.

a. Topografía

El levantamiento topográfico del área objeto de estudio fue realizado en jornadas anteriores y entregado por la Empresa Agroindustrial con el fin de coordinar y planificar los trabajos de campo.

De acuerdo a la topografía del sector, se priorizó las posibles zonas inestables para su estudio en mayor detalle; la ubicación de las investigaciones geotécnicas se realizó considerando estas zonas (Ver Anexo G-5).

b. Geología local

Los suelos se componen de limo areno arcillosos de alta compresibilidad, de consistencia blanda, con alto contenido de humedad, moderada plasticidad, pobre drenaje. Este tipo de suelos tiene escasa estabilidad, baja capacidad de carga, moderado riesgo de asentamientos, mala compactibilidad de acuerdo a un anterior estudio realizado por ECUASUELOS.

Se determinan la existencia de depósitos lacustres caracterizados por la presencia de limos arenosos, de color café, con clastos de roca de tamaño hasta doce centímetros, subredondeados y de afinidad volcánica, así como también de aluviales antiguos que generalmente forman terrazas localizadas tanto al Sur como al Norte del río Verde Chico, hasta el Recinto el Corazón, tienen la apariencia de flujos de lodo con débil litificación, litológicamente están compuestos por bloques volcánicos e intrusivos de composición variable en una matriz compuesta por limos arenas y arcillas.

2. Trabajo de Campo

Luego de haber analizado la información documental, así como también, verificado y definido la ubicación de los sondeos eléctricos verticales (SEV), sondeos geotécnicos y excavación de calicatas, se efectuaron las siguientes actividades en el campo:

a. Prospección Geofísica: Sondeo Eléctrico Vertical

En el estudio estuvo presidida del Ing. Efrén Pasquel Salazar quien utilizó la configuración de dispositivo electródico conocido como “Schlumberger Modificado”. La modelación de los SEV se realizó empleando el software de origen ruso IPI-WIN-2, el mismo que en base a ecuaciones polinómicas integra los pares de valores X y de resistividad aparente y $AB/2$ respectivamente; este programa permite determinar directamente los valores de resistividad verdadera obtenidos en cada una de las mediciones en el terreno.



Foto 1: Instalación del equipo de resistividad eléctrica

Se efectuaron un total de seis sondajes eléctricos verticales, cuya amplitud de los electrodos de corriente A-B en cada uno de los sondeos fue de 160 metros, lo que proporciona una profundidad aproximada de investigación entre 40 – 50 metros.



Foto 2: Vista del Centro del Sondaje Eléctrico Vertical 5

A continuación se detalla la ubicación, dirección y profundidad aproximada de estudio correspondiente de cada uno de los sondajes:

Cuadro 7: Ubicación, Dirección y Profundidad de los SEV

SONDAJES ELÉCTRICOS VERTICALES						
PUNTOS	COORDENADA		COTA (m)	RUMBO	AMPLITUD A-B	PROFUNDIDAD APROXIMADA
	NORTE	ESTE				
SEV-1	10028678	744304	938	N40E	160 m.	40 -50 m.
SEV-2	10028697	744354	947	N40E	160 m.	40 -50 m.
SEV-3	10028708	744315	940	N10E	160 m.	40 -50 m.
SEV-4	10028733	744344	948	N-S	160 m.	40 -50 m.
SEV-5	10028766	744335	950	N15E	160 m.	40 -50 m.
SEV-6	10028764	744385	956	N80W	160 m.	40 -50 m.

Elaboración: Pesantez, J (2014).

De un análisis global y de la evaluación general de los datos obtenidos, se puede indicar que se han registrado 4 estratos geoelectrónicos diferenciados claramente en base a sus valores de resistividad eléctrica.

Cuadro 8: Resumen de los Geoestratos Determinados (SEV)

SONDAJE	GEOESTRATO	RESISTIVIDAD AP. (Ohm-m)	POTENCIA (m)
SEV - 1	A	205	1.40
	B	109 - 145	7.60
	C	12	7.50
	D	190	No determ.
SEV - 2	B	1150 - 1300	3.00
	C	590	9.00
	D	15	4.00
	E	220	No determ.
SEV - 3	A	435 - 1600	2.30
	B	240	8.20
	C	12	5.50
	D	220	No determ.
SEV - 4	A	1035 - 720	2.50
	B	260 - 480	10.50
	C	19	19.00
	D	550	No determ.
SEV - 5	A	360 - 540	4.40
	C	145	11.00
	D	30	14.50
	E	240	No determ.
SEV - 6	A	300 - 115	1.50
	B	240	3.70
	C	50	22.80
	D	650	No determ.

Fuente: Informe Técnico de Resistividad Eléctrica “Relavera”.

Estos horizontes geoelectricos detallados en el cuadro anterior, se describen a continuación:

- El horizonte geoelectrico A es el suelo de cobertura vegetal; se encuentra constituido por material limo arenoso en ciertas áreas y por material rocoso (grava, fragmentos de roca) en otros sitios. La capa es producto de la erosión y meteorización in situ de rocas volcánicas sedimentarias con muy bajo grado de metamorfismo, preexistentes en el área.
- El horizonte A no tiene saturación, presenta baja compactación superficial y lateral. Estrato con alto grado de alteración, buena porosidad y permeabilidad. En la base del estrato se inicia con la posición del nivel freático (N.F.) la fase de roca semisaturada. Condiciones generales de inestabilidad vertical y lateral. Grado bajo de compactación. Propiedades geotécnicas de resistencia baja a implantación de obras civiles. Es necesario reforzar el material con el fin de obtener una vida útil relativamente prolongada de la obra o estructura que se proyecte implantar.
- El horizonte geoelectrico B contiene material sedimento-volcánico con un grado bajo de metamorfismo. Este proceso geológico ha desarrollado pizarras con escasa laminación y foliación, pero con alto grado de alteración (meteorización) por las condiciones de exposición al medio ambiente y a la alta humedad de la zona.
- El horizonte B se encuentra semisaturado (cercano al tope del estrato se presenta el N.F.) sobre todo cubriendo las secciones de alto fracturamiento y diaclasamiento. Baja porosidad, permeabilidad secundaria por fisuración. Bajo grado de compactación, medianamente deleznable. Propiedades geotécnicas de resistencia media a implantación de obras civiles.
- El horizonte geoelectrico C está integrado por material sedimento-volcánico con un grado bajo de metamorfismo. Este proceso geológico ha desarrollado a esta profundidad esquistos de tipo sericítico, bastante compactos, con bajo grado de alteración.

- El horizonte C se presenta con cierto grado de humedad, baja saturación. Condiciones pobres a muy pobres de porosidad y permeabilidad. Significativo grado de compactación, el material es medianamente deleznable. Propiedades geotécnicas de resistencia media a implantación de obras civiles.
- El horizonte geoelectrico D contiene material sedimento-volcánico depositado originalmente en ambiente marino, actualmente presenta grado bajo a medio de metamorfismo. Este proceso geológico ha desarrollado a la profundidad del estrato D, filitas y pizarras con bajo grado de alteración (poca fisuración y diaclasamiento).
- El horizonte D registra humedad (baja saturación). Bajo a muy bajo nivel de porosidad y permeabilidad hidráulica. Grado medio a alto de compactación, muy poco deleznable. Propiedades geotécnicas de resistencia media a alta implantación de obras civiles.

b. Sondeos Geotécnicos

Mediante los sondeos se verificaron los resultados obtenidos de la resistividad eléctrica y se definió la litología y potencia de los estratos del terreno a partir de las muestras extraídas por medio de perforación a diamantina.

Las labores de perforación se realizaron con el equipo de perforación denominado *Long Year 24* perteneciente a la Empresa TERRAHIDRO, operado por el Sr. Jefferson Valdez; Se efectuaron tres sondeos geotécnicos distribuidos estratégicamente en la zona de estudio, con el fin de extraer muestras representativas (Ver Anexo G-5).



Foto 3: Labores de Perforación Sondeo P1

Las coordenadas de ubicación y la profundidad de los sondeos se detallan en el siguiente cuadro:

Cuadro 9: Ubicación de los sondeos.

POZO	COORDENADA		PROF. (m)
	N	E	
P1	10028645	744287	15
P2	10028700	744326	15
P3	10028740	744370	15

Elaboración: Pesantez, J (2014)

En cada uno de los sondeos se realizó ensayos de Test de Penetración Estándar (SPT), de acuerdo a la norma ASTM D 1586, cada metro y perforación roto-percusión en roca o roca blanda, con recuperación de testigos; también se extrajeron muestras inalteradas a través de Tubo Shelby de los estratos representativos.



Foto 4: Recuperación de Muestra - Cuchara Partida (SPT)



Foto 5: Ensayo de Test de Penetración Estándar

Cuando el número de golpes de SPT sobrepasa los 30 en arcillas y 50 en arenas, sin haya avance en la perforación, se considera como rechazo, es decir, el estrato está muy compacto o denso, por lo que es necesario utilizar el equipo de perforación a rotación,

siendo la corona con incrustación de diamantes quien corte la roca y mediante con un retenedor se recupera la muestra.

En todas las muestras se realizó la identificación Manual – Visual de campo según la norma ASTM D 2488; luego fueron etiquetadas y almacenadas en cajas porta testigos, para su posterior análisis en el laboratorio. (Ver el Anexo B).

A partir del número de golpes (SPT) se puede determinar el Grado de Compacidad en suelos arenosos y la Consistencia en caso de suelos arcillosos, mediante el siguiente cuadro:

Cuadro 5: Grado de Consistencia o Compacidad de Suelos.

SUELO COHESIVO		SUELO GRANULAR	
N (S.P.T.)	CONSISTENCIA	N (S.P.T.)	COMPACIDAD
< 2	Muy blanda	< 4	Muy suelta
2 a 4	Blanda	5 – 10	Suelta
4 a 8	Mediana	11 - 30	Compacta
8 a 15	Compacta	31 – 50	Densa
15 a 30	Muy compacta	> 50	Muy Densa
> 30	Dura		

Fuente: Terzaghi y Peck.

Al finalizar cada sondeo se instalaron piezómetros para determinar la variación del nivel freático, siendo importante estos resultados al momento de realizar el diseño y la construcción de la relavera.



Foto 6: Colocación del piezómetro

Se determinó la variación del nivel freático durante las labores de perforación, dándonos los siguientes resultados:

Cuadro 10: Nivel Freático de los Sondeos

NIVEL FREÁTICO						
SONDEO	P1		P2		P3	
DÍA	PRIMERO	SEGUNDO	PRIMERO	SEGUNDO	PRIMERO	SEGUNDO
PROFUNDIDAD	6,45 m	5,2 m	6,5 m	6,4 m	4,82 m	5,4 m

Elaboración: Pesantez, J (2014)

c. Ensayos de Permeabilidad

Para determinar el coeficiente de permeabilidad (K) se efectuaron ensayos Lefranc que consiste en medir el caudal de agua absorbido en un intervalo de sondeo, los tramos ensayados varían desde 3m (en suelos limos arenosos o arenas limosas), a 5m (en suelos constituidos por limos plásticos) (Ver Anexo C).

Para realizar el ensayo es necesario seguir los siguientes pasos:

- I. Medir el nivel freático para calcular la carga de agua.
- II. Aislar el tramo a ensayar, mediante revestimiento.
- III. Estabilizar el nivel de agua en la superficie, durante 10 minutos.
- IV. Medir del caudal absorbido cada minuto, durante 30 minutos.



Foto 7: Ensayo Lefranc en el Sondeo P2

La zona de estudio litológicamente está compuesta por limos plásticos, tobas altamente meteorizadas y arenas limosas por lo que se refleja en la permeabilidad calificándolo como baja a media.

Cuadro 8: Resultados de los ensayos Lefranc

SONDEO	ENSAYO N°	TRAMO (m)	PERMEABILIDAD (cm/seg)	DESCRIPCIÓN
P1	1	2,00 - 7,00	1,45E-05	BAJA
P2	1	0,50 - 3,00	1,39E-03	MEDIA
	2	3,00 - 6,00	6,40E-04	MEDIA
	3	6,40 - 9,40	1,27E-03	MEDIA
	4	7,00 - 12,00	7,45E-04	MEDIA
	5	10,00 - 15,00	2,24E-04	MEDIA

P3	1	2,00 - 5,00	1,17E-05	BAJA
	2	5,00 - 10,00	2,51E-06	BAJA
	3	10,00 - 15,00	6,30E-04	MEDIA

Elaboración: Pesantez, J (2014)



Foto 8: Medición del Caudal de Agua Absorbido

d. Excavación de Calicatas

La excavación de calicatas se efectuó con el fin de extraer muestras inalteradas, para determinar mediante ensayos de laboratorio la cohesión y el ángulo de fricción, parámetros necesarios para modelaciones de taludes; y muestras integrales del material de corte para establecer si es apto su utilización en la presa.



Foto 9: Calicata CI-8

Se realizaron ocho calicatas de 1,60m a 2,10 m. de profundidad distribuidas de la siguiente manera:

- Seis calicatas donde se realizarán los taludes, las muestras inalteradas extraídas tienen forma de cubos de 25 cm. por lado.
- Dos calicatas en el material de corte ubicado en el centro de la zona de estudio, las muestras integrales se caracterizan por ser extraídas de diferentes profundidades con un peso aproximado de 15 lb.



Foto 10: Extracción de Muestras Inalteradas

En cada una de las calicatas se realizaron ensayos in situ para determinar la cohesión y el ángulo de fricción de los estratos representativos, utilizando veleta y penetrómetro respectivamente; al mismo tiempo se realizó la descripción litológica y se extrajo muestras para su posterior ensayo de clasificación (Ver Anexo D).

3. Ensayos de Laboratorio

En toda obra civil es necesario determinar las características cuantitativas del terreno donde se va a asentar dicha obra, mediante ensayos de laboratorio de muestras representativas extraídas.

Las muestras se recuperaron de los sondeos y calicatas a través de diversos métodos de acuerdo al ensayo que se desee realizar (Ver Anexo E), estos métodos son:

- SPT: cuchara partida.
- Tubos Shelby.
- Perforación con recuperación de testigos.
- Muestra integrales (calicatas).
- Muestras Inalteradas (calicatas)

Se realizó una selección de muestras considerando de los estratos más representativos del sector para enviarlos al laboratorio (Ver Anexo F), donde se realizaron los siguientes ensayos:

- Clasificación y Límites de Atterberg (SUCS).
- Compresión Simple.
- Triaxiales no Saturados.
- Compactación.

Los dos primeros ensayos sirven para caracterizar el terreno de acuerdo al tamaño de grano, contenido de humedad, límites líquidos y plásticos, resistencia a la compresión entre otras propiedades; mientras que los dos siguientes determinan la cohesión, ángulo de fricción y densidades, parámetros necesarios para evaluar las condiciones del terreno y su comportamiento ante las cargas impuestas por la obra a implantarse.

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio (Ver Anexo F), se definieron cuatro unidades geotécnicas, detalladas en el Cuadro 11.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. GEOLOGIA GENERAL DEL PROYECTO

Las rocas que afloran en la zona de estudio son predominantemente sedimentarias (Ver Anexo G-4) y en parte volcánicas; su edad varía de cretácica a cuaternaria. La influencia de los volcanes Pichincha y Pululahua se refleja en los rasgos geomorfológicos de la zona.

Las principales formaciones geológicas que afloran en las cercanías de la zona de estudio son:

1. Cretácico - Terciario

a. Formación Macuchi

En varios afloramientos cercanos a la zona de estudio se puede notar claramente la presencia de lavas de composición media y sedimentos volcánicos gruesos intercalados. En el sector comprendido entre Gualea Cruz – Pacto – El Paraíso, se observan afloramientos de rocas de color verde con textura afanítica hasta finogranular. Tienen una apariencia masiva en parte y otras son bastante foliadas con bandas de diferente coloración. De manera general, las rocas están meteorizadas y fracturadas, se observan en ciertos afloramientos, vetas de serpentina.

Localmente se visualizan andesitas, brechas e incluso depósitos de pillow-lavas. La cercanía al batolito Apuela – Nanegal ha producido su efecto en estas rocas, pudiéndose encontrar cornubianitas en la zona.

b. Metasedimentos Chontal

Cubren una gran extensión regional que abarca el Noroccidente de la hoja geológica de Pacto y corresponden estratigráficamente a la formación Cayo de la Sierra. Las rocas principales de esta formación son pizarras laminadas negras en alternancia con cuarcitas masivas y esquistos. Hacia el occidente se encuentran argilitas negras y conglomerados poco metamorfizados, presumiendo que el grado de metamorfismo disminuye de oriente a occidente. Geológicamente están considerados como metasedimentos volcánicos y parte de la formación Macuchi.

c. Unidad Tortugo

Está limitada por la falla Toachi y aflora desde el Río Guayllabamba hacia el norte hasta el camino Salinas-Lita. Consiste de areniscas masivas de grano grueso, intercaladas con lutitas de hasta 1 metro de espesor. Los litoclastos están compuesto principalmente de lavas riolíticas, mientras que la matriz está dominada por feldespato saussurtizado, augita y anfíbol, lo que sugiere derivación de una fuente volcánica activa.

2. Holoceno**d. Terrazas**

Están ubicadas a los costados del río Guayllabamba. Litológicamente constituyen elementos de naturaleza volcánica moderna en una matriz areno-conglomerática fina. Los clastos son redondeados hasta subangulares y de variado tamaño, yendo desde decimétricos a métricos, mostrando lineamientos horizontales.

e. Depósitos Coluviales

Se presentan indistintamente en todas las formaciones, especialmente en los flancos de las montañas y grandes valles. La edad y potencia es variable, en parte están cubiertos por cenizas volcánicas modernas.

f. Depósitos Aluviales

Sobresalen en la zona los depósitos aluviales de la parte baja del río Guayllabamba, que alcanzan una extensión de hasta 300 metros. Litológicamente están constituidos por una mezcla poco estratificada de grava, arena y arcilla.

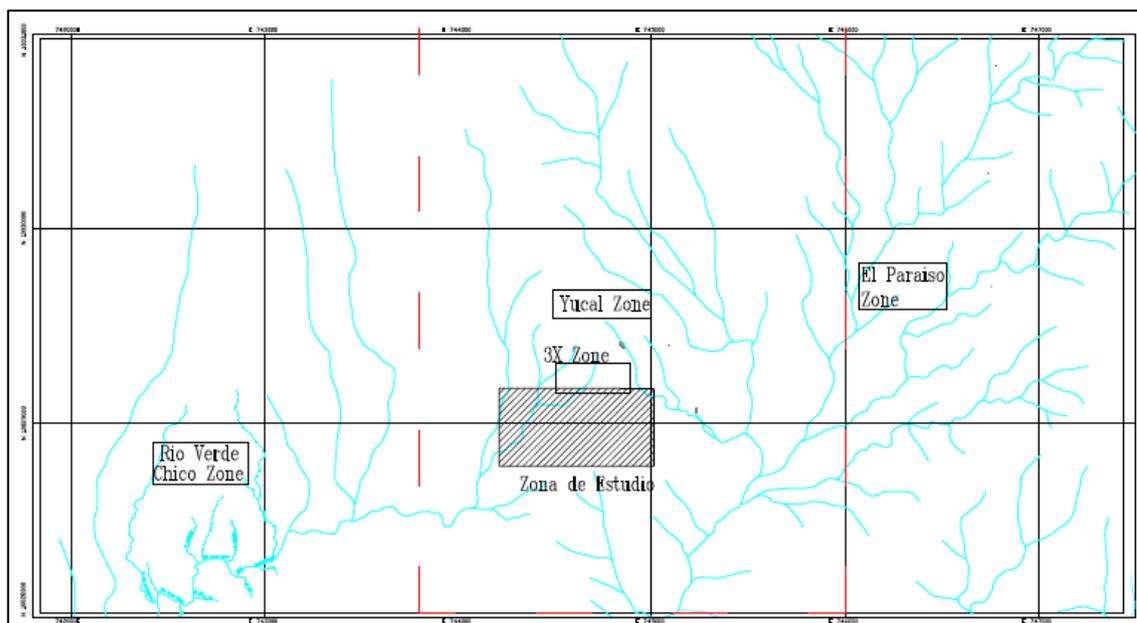
d. Depósitos Lacustres

Caracterizados por la presencia de limos arenoso con clastos de roca de tamaño hasta doce centímetros, subredondeados y de afinidad volcánica.

B. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

La zona de estudio está ubicada en la parte baja de la cuenca desde los 800 a 1100 msnm, está asociada a las terrazas aluviales, conos de deyección y flujos piroclásticos, sedimentos lagunares.

Gráfico 8: Microcuenca Río Verde Chico



Elaboración: Pesantez, J (2014)

Hidrogeológicamente se lo considera como el área de acumulación y tránsito, en donde se almacena el agua que se infiltra en la parte alta y por sus características da paso a la descarga controlada del recurso hídrico almacenado hacia los curso de agua existentes, mediante un sistema de vertientes.

El área de estudio se caracteriza por tener el nivel freático a 5,20m de profundidad en el sondeo P1, 6,40 m de profundidad en el sondeo P2 y 5,40m de profundidad en el sondeo P3 (Ver Cuadro 10).

Los resultados de permeabilidad indican valores que se consideran como poco probables la existencia problemas relevantes por infiltraciones, con valores entre $10E-3$ a $10E-6$ cm/seg, los mismos que se categorizan como permeabilidad media a baja.

C. ASPECTOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS

Mediante correlaciones de resultados: de la investigación geofísica, ensayos SPT, ensayos de clasificación y permeabilidad, se estableció cuatro unidades geotécnicas.

La primera corresponde a un estrato de limo plástico (MH) cubierta por suelo color café-marrón, subyacente se encuentra un estrato de arena limosa (SM); la tercera unidad se compone de un estrato limoso de alta plasticidad (MH), y la última caracterizada por su alta compacidad, conformado por tobas completamente alteradas.

A continuación se detallan las propiedades geomecánicas de las unidades geotécnicas obtenidas a partir de los ensayos de laboratorio:

Cuadro 11: Propiedades Geomecánicas de las Unidades Geotécnicas

UNIDAD GEOTÉCNICA UNO		UNIDAD GEOTÉCNICA TRES	
Limo de Alta Plasticidad (MH)		Limo de alta plasticidad (MH)	
Potencia del Estrato	0.30 - 0.90 m	Potencia del Estrato	<7 m
Número de Golpes SPT	10	Número de Golpes SPT	5
Cohesión	0.17 kg/cm ²	Cohesión	0.43 kg/cm ²
Angulo de Fricción Interna	10°	Angulo de Fricción Interna	12°
Permeabilidad	1,00E-03	Permeabilidad	1,00E-05
UNIDAD GEOTÉCNICA DOS		UNIDAD GEOTÉCNICA CUATRO	
Arena limosa (SM)		Toba altamente alterada	
Potencia del Estrato	0.30 - 2.00 m	Potencia del Estrato	>5 m
Número de Golpes SPT	7	Número de Golpes SPT	40
Cohesión	0.32 kg/cm ²	Cohesión	0.2 kg/cm ²
Angulo de Fricción Interna	21°	Angulo de Fricción Interna	7°
Permeabilidad	1,00E-03	Permeabilidad	1,00E-04

Elaboración: Pesantez, J (2014)

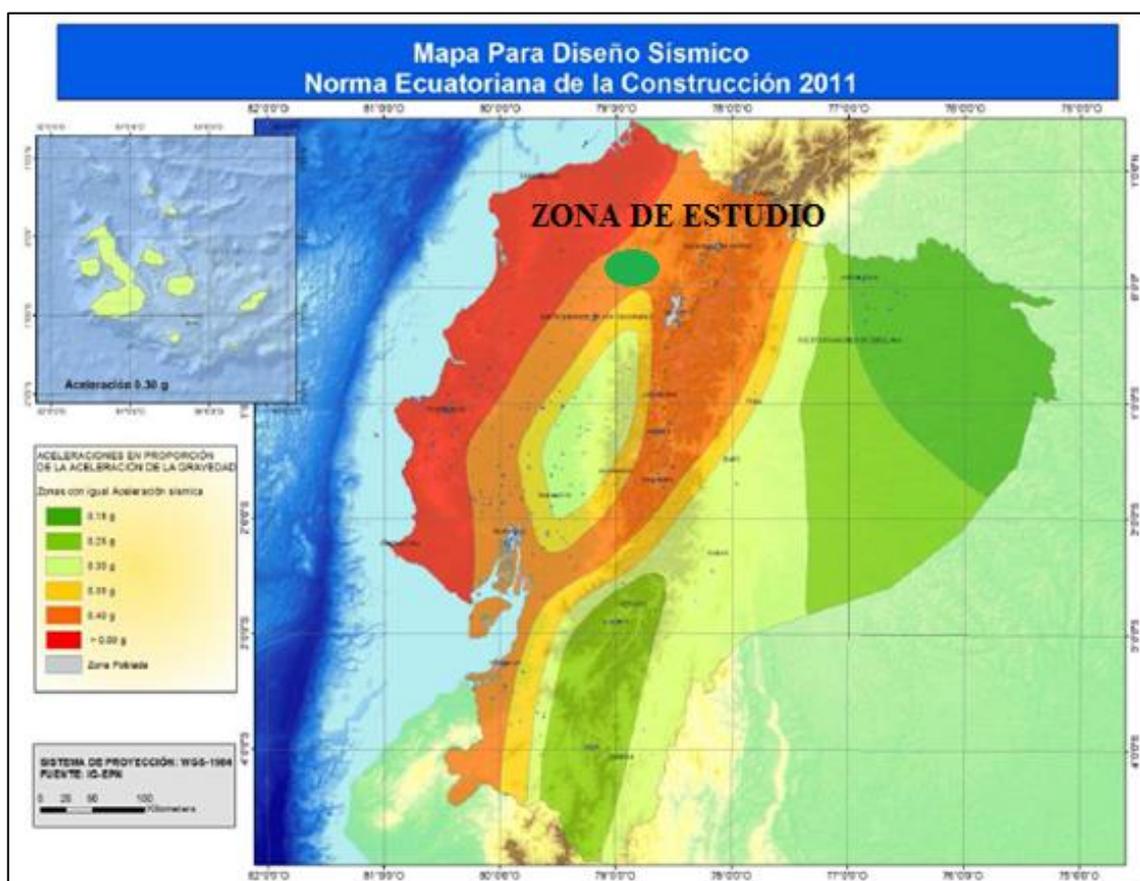
De acuerdo al grado de compactación, permeabilidad, cohesión que caracteriza a la unidad geotécnica cuatro, sugiere que la cimentación de la presa se realice en esta unidad, por las condiciones favorables que presenta.

D. AMENAZAS NATURALES

1. Amenaza Sísmica

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, el país está subdividido en seis zonas sísmicas caracterizada por el valor del factor de zona Z , y de manera general el Ecuador es catalogado como de amenaza sísmica alta, con excepción del nor-oriente que presenta una amenaza sísmica intermedia y del litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta; el área del proyecto se ubica en el cantón Cotacachi considerada como zona sísmica V, con un valor de aceleración (Z) de 0.4 g, que se lo cataloga como peligro sísmico alto.

Gráfico 9: Mapa para Diseño Sísmico



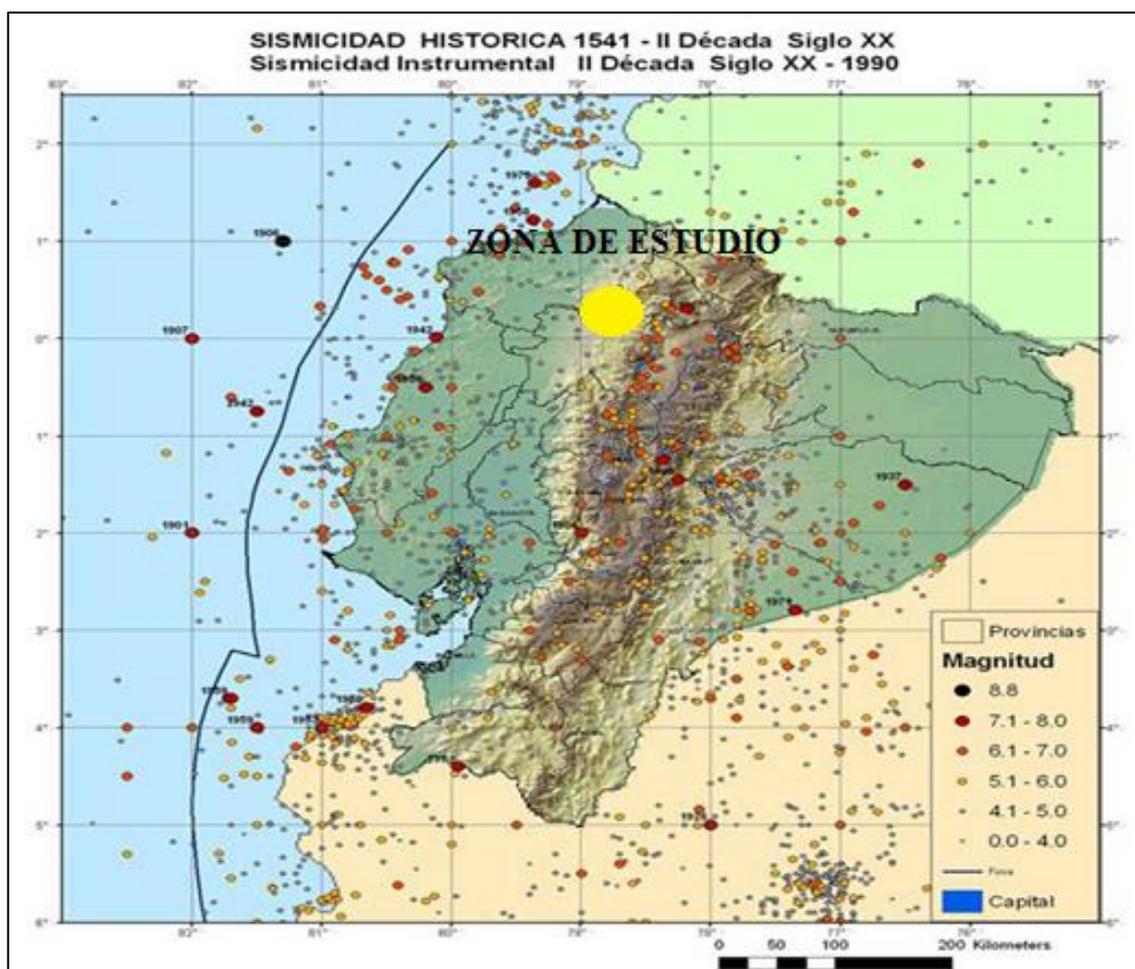
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Cuadro 12: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción.

La principal estructura cercana al proyecto es la falla geológica Toachi. En la zona de influencia del proyecto, los sismos de mayor magnitud reportados están en la escala 5, según mapa de sismicidad histórica elaborado por la Politécnica Nacional en un histórico hasta el año 1990, ver ilustración N. 4-17.

Gráfico 10: Sismicidad Histórica del Ecuador

Fuente: Escuela Politécnica Nacional

Según reporte actualizado del Instituto Geofísico de la EPN, en los últimos años en la zona del proyecto no ha existido una actividad sísmica destacable, se reporta sismos de magnitud menor a 4° cercano a la zona.

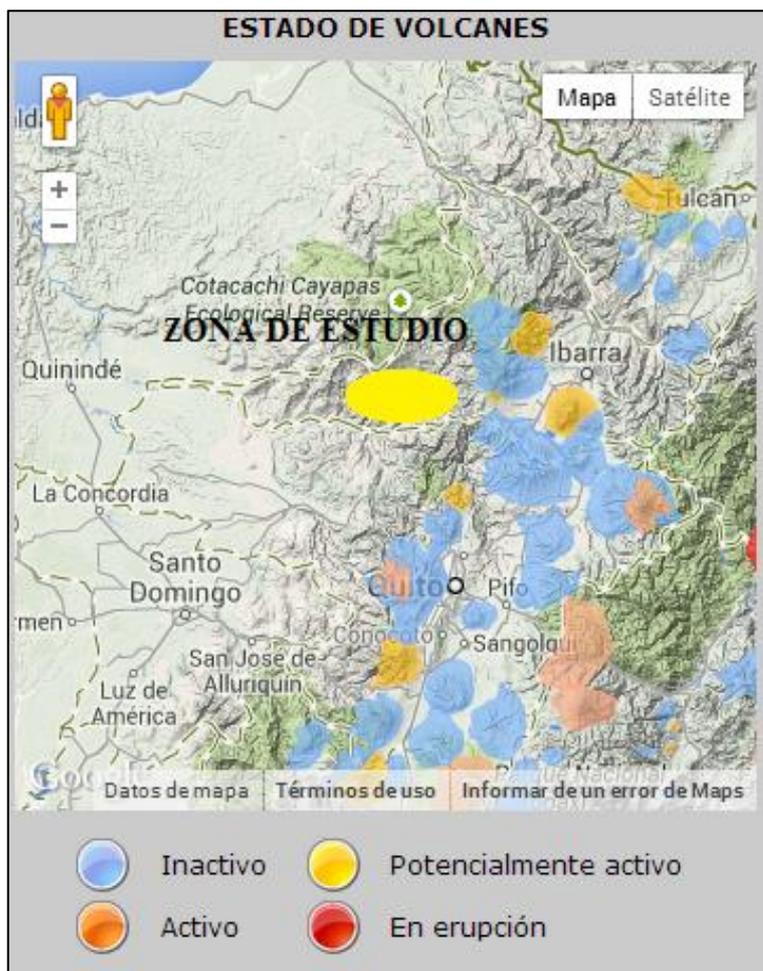
Gráfico 11: Sismos recientes



Fuente: Escuela Politécnica Nacional

2. Amenaza Volcánica

Por su ubicación geográfica, en el estribo Oeste de la cordillera Occidental, la Parroquia García Moreno y la zona del proyecto se encuentran fuera del área de influencia directa de los volcanes activos del norte del país. Bajo estas circunstancias, el riesgo asociado al vulcanismo en el Área Minera El Corazón es bajo, cuyos efectos eventuales sería la caída de ceniza.

Gráfico 12: Estado de Volcanes

Fuente: Escuela Politécnica Nacional

3. Hidrometeorológicas

Dentro de los fenómenos Hidrometeorológicas, se los encasilla a las inundaciones y también los movimientos de masas como consecuencia de sobresaturación del terreno y desequilibrio de las fuerzas estabilizantes.

El riesgo de inundaciones dentro del área de estudio es muy baja a nula, debido a que la distancia del proyecto con respecto a las subcuencas es considerable; la geomorfología del sector caracterizada por un sistema de vertientes dendríticos tampoco favorece a que se origine este tipo de riesgo.

Se puede considerar los movimientos en masa como un peligro latente, por tal motivo se debe realizar un buen sistema de drenaje, direccionando las aguas de escorrentía a las quebradas evitando la sobresaturación del terreno.

E. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

La estabilidad de taludes es definida usualmente en términos determinísticos, a través de un factor de seguridad (FS). La elección del método de análisis más adecuado es un aspecto relevante a ser considerado, siendo función tanto de la importancia de la obra, cuanto de la calidad de los datos disponibles.

En casos de taludes naturales, el análisis de la estabilidad puede hacer uso también de técnicas probabilísticas, considerando que la elección de los parámetros más relevantes está inevitablemente sujeta a incertidumbres. Así, el cálculo de la seguridad de un talud incluye errores y /o imprecisiones que son relativos no sólo a los parámetros relevantes al problema, sino también al método de análisis adoptado. (Morales 2007).

Para determinar el Factor de Seguridad de los taludes, por la alta confiabilidad que posee se utilizó dos métodos: Bishop simplificado y Janbú, mediante el software de cálculo especializado Slide 5.0.

1. Talud 1

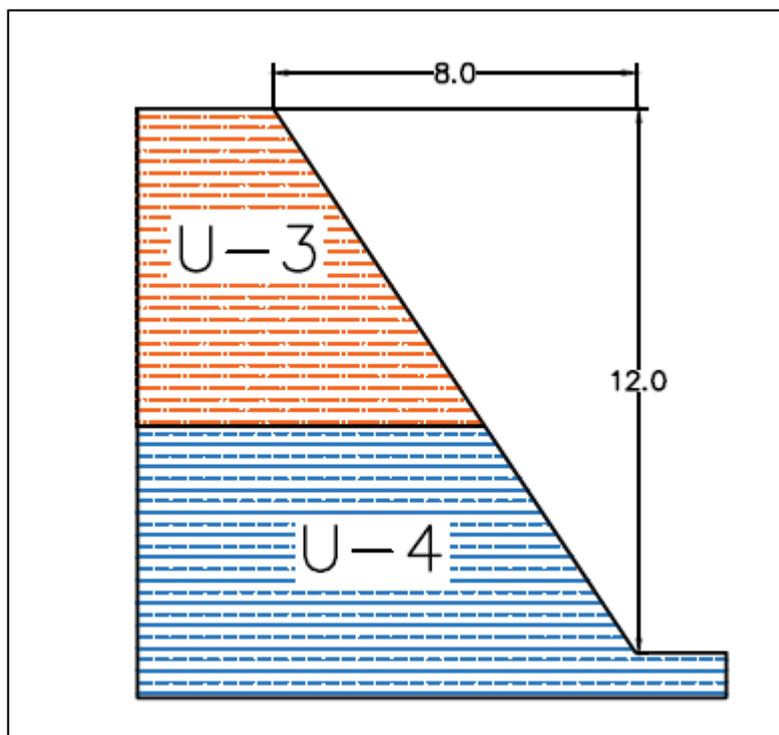
Corresponde a la margen izquierda de la presa (junto a la vía), su caracterización geotécnica se detalla en el Cuadro 11; a partir de las muestras extraídas de las calicatas Cl-1, Cl-2 y sondeo P3.

Cuadro 13: Características Geomecánicas del Talud 1

UNIDADES GEOTÉCNICA	PROFUNDIDAD	PESO UNITARIO	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
	m	Kg/cm ³	Ton/m ²	
Unidad 1	0 - 1,20	0,145	27	11,75
Unidad 2	1,20 - 3,00	0,15	34	14
Unidad 3	3,00 - 10,00	0,14	22	13
Unidad 4	> 10	0,13	43	12

Elaboración: Pesantez, J (2014)

Se ha establecido de acuerdo a las características del material presente en el lugar de estudio como talud de corte H: 1 V: 1,5, para las dos unidades geotécnicas más representativas, puesto que las unidades superficiales van a ser removidas o en su caso mejoradas.

Gráfico 13: Diseño de Talud 1

Elaboración: Pesantez, J (2014)

El talud 1 de corte tiene una longitud de 30m y una altura de 14m, el mismo que está compuesto por estratos de limos plásticos, razón por la que para el análisis de estabilidad de taludes se considera como datos fundamentales al peso unitario, cohesión y ángulo de fricción, expuestos en la tabla 13.

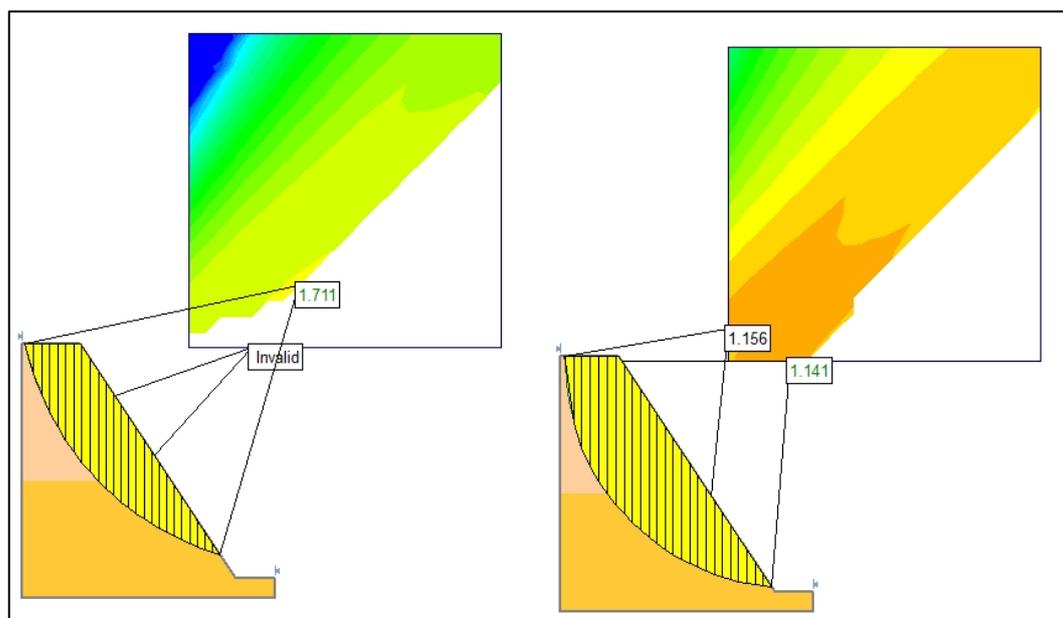
Complementariamente, en la evaluación de la estabilidad de taludes se incluyó cargas sísmicas considerando una aceleración horizontal de 0.4g, (tomado del código de la construcción ecuatoriano 2011), que corresponden a la zona sísmica del lugar de estudio, dato que permitió establecer el factor de seguridad pseudo estático. Los resultados indicados corresponden valores de factor de seguridad crítico para cada caso:

Cuadro 14: Factor de Seguridad del Talud 1

TALUD 1		
MÉTODO DE ESTABILIDAD DE TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO	FACTOR DE SEGURIDAD PSEUESTÁTICO
Bishop Simplificado	1,635	1,162
Janbú Simplificado	1,711	1,141
PROMEDIO	1,673	1,1515

Elaboración: Pesantez, J (2014)

Gráfico 14: Método Janbú – Factor de Seguridad Talud 1



Elaboración: Pesantez, J (2014).

2. Talud 2

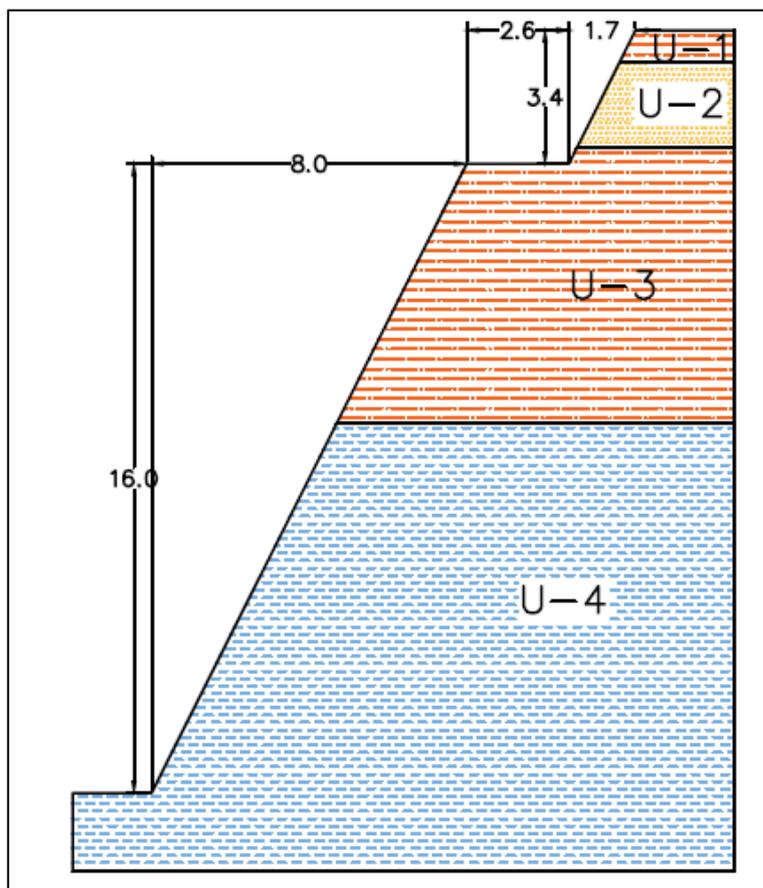
Ubicado al frente de la presa, su caracterización geotécnica se detalla en el Cuadro 12; a partir de las muestras extraídas de las calicatas CI-3, CI-4 y sondeo P3.

Cuadro 15: Características Geomecánicas del Talud 2

UNIDADES GEOTÉCNICA	PROFUNDIDAD	PESO UNITARIO	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
	m	Kg/cm ³	Ton/m ²	
Unidad 1	0 - 0,80	0,14	30	9
Unidad 2	0,80 - 3,00	0,15	34	14
Unidad 3	3,00 - 10,00	0,14	22	13
Unidad 4	> 10	0,13	43	12

Elaboración: Pesantez, J (2014)

El talud 2 tiene una longitud 70m y una altura de 19,4m, el mismo que está compuesto por estratos de arenas limosas y limos plásticos como se detalla en el Cuadro 15:

Gráfico 15: Diseño del Talud 2

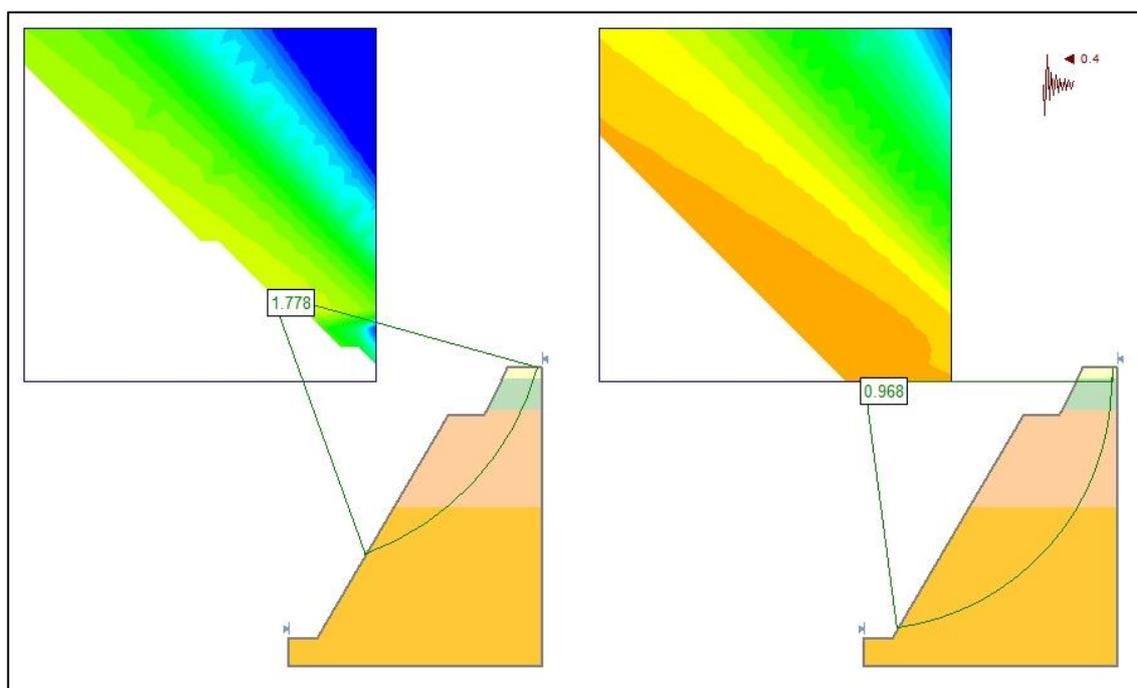
Elaboración: Pesantez, J (2014)

De acuerdo a los datos geotécnicos y evaluando el factor de seguridad respectivo; por la altura que presentan se recomiendan construirlos con una berma de 2.56 m de ancho a 16 m del pie del talud; se complementa el talud desarrollando un corte 1H: 2V desde el pie del talud como también después de la berma, los resultados de la evaluación de los taludes se presentan a continuación:

Cuadro 16: Factor de Seguridad del Talud 2

TALUD 2		
MÉTODO DE ESTABILIDAD DE TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO	FACTOR DE SEGURIDAD PSEDOESTÁTICO
Bishop Simplificado	1,388	0,985
Janbú Simplificado	1,778	0,968
PROMEDIO	1,583	0,977

Elaboración: Pesantez, J (2014)

Gráfico 16: Método Janbú – Factor de Seguridad Talud 2

Elaboración: Pesantez, J (2014)

3. Talud 3

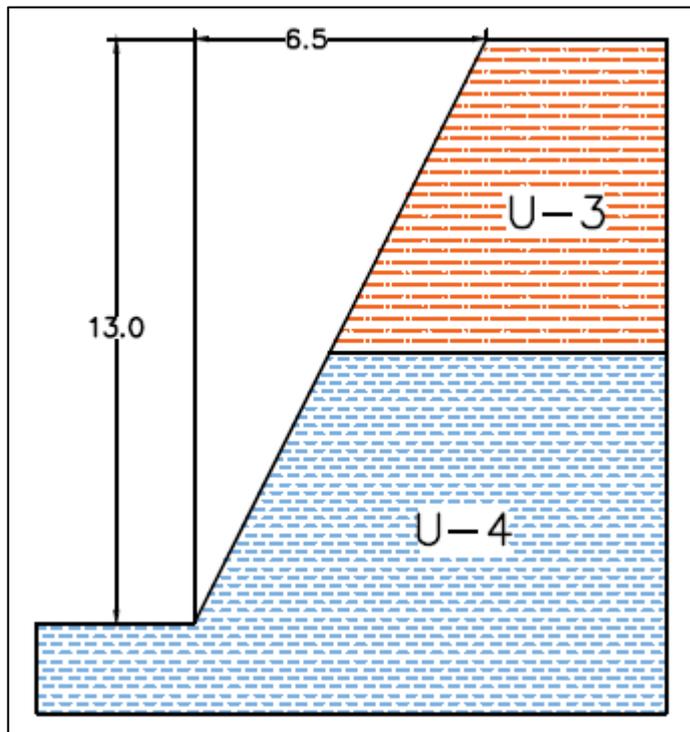
El talud 3 se considera al corte que se va a realizar a la margen derecha de la presa, su caracterización geotécnica se realizó a partir de las muestras extraídas de las calicatas CI-5, CI-6 y Sondeo P3.

Cuadro 17: Características Geomecánicas del Talud 3

UNIDADES GEOTÉCNICA	PROFUNDIDAD	PESO UNITARIO	COHESIÓN	ÁNGULO DE FRICCIÓN
	m	Kg/cm ³	Ton/m ²	
Unidad 1	0 - 0,80	0.13	33	10
Unidad 2	0,80 - 3,00	0.15	34	14
Unidad 3	3,00 - 10,00	0,14	22	13
Unidad 4	> 10	0,13	43	12

Elaboración: Pesantez, J (2014)

El talud 3 tiene una longitud de 45m y una altura media de 13m y está compuesto por cuatro unidades geotécnicas, pero como los dos primeros no son representativos se ha calculado con las unidades 3 y 4:

Gráfico 17: Diseño del Talud 3

Elaboración: Pesantez, J (2014)

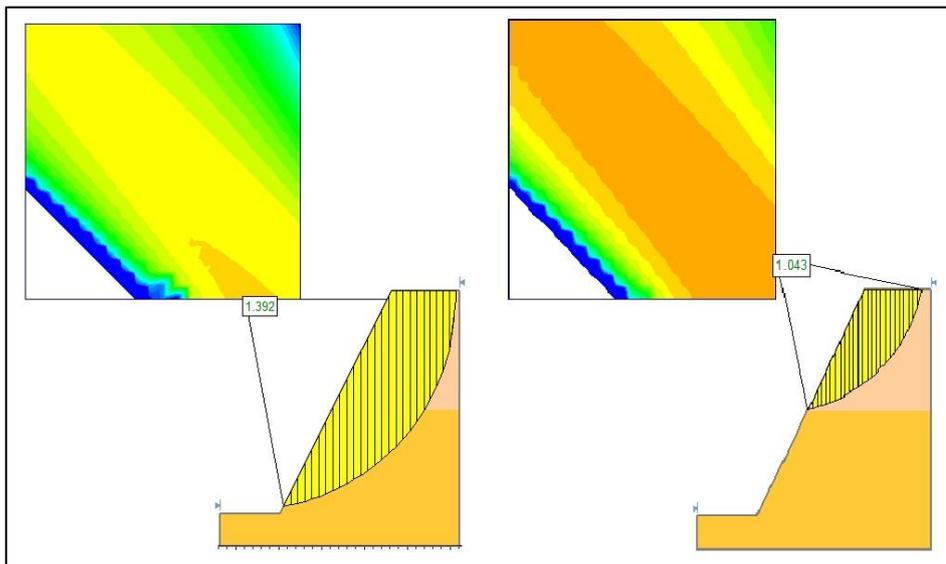
De acuerdo con las características geotécnicas de las unidades se considera un corte de talud 1H: 2V; los resultados de la evaluación de los dos taludes, se presentan a continuación:

Cuadro 18: Factor de Seguridad del Talud 3

TALUD 3		
MÉTODO DE ESTABILIDAD DE TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO	FACTOR DE SEGURIDAD PSEDOESTÁTICO
Bishop Simplificado	1,392	1,043
Janbú Simplificado	1,558	0,997
PROMEDIO	1,475	1,02

Elaboración: Pesantez, J (2014)

Gráfico 18: Método Bishop – Factor de Seguridad Talud 3



Elaboración: Pesantez, J (2014)

F. ALTERNATIVA PROPUESTA

El diseño de la relavera se propone construirla en dos fases, es decir, constará de dos piscinas de relaves, las mismas que tendrán una mayor capacidad de almacenamiento con el mínimo material de corte.

Las condiciones de cimentación presentadas anteriormente obligan y ratifican el diseño de una presa de materiales sueltos, que pueda soportar deformaciones (Ver Anexo G-7).

1. Parámetros de Diseño

Debe incluir para ese efecto un buen sistema de drenaje interno que pueda canalizar cualquier filtración concentrada que pueda ocurrir. Por lo expuesto la sección de presa incluirá:

- Núcleo central impermeable, con taludes amplios, 4V:1H hacia aguas arriba y aguas abajo, que sea lo suficientemente deformable como para aceptar movimientos extremos, minimizando la probabilidad de formación de fisuras continuas en todo su ancho.
- Delantal impermeable hacia aguas arriba, para reemplazar en todo su espesor los suelos finos de cobertura, relativamente impermeables, que deberán ser excavados y desalojados.

- Filtros y drenes a los lados del núcleo para garantizar una correcta evacuación de los flujos que puedan desarrollarse a través del núcleo y aquellos flujos concentrados que podrían generarse por un evento extraordinario.
- Filtros y drenes horizontales sobre la cimentación y bajo el espaldón de aguas abajo para evacuar libremente los flujos de filtración.
- Espaldones de roca, dispuesta con los fragmentos finos hacia el interior de la sección y los fragmentos y bloques gruesos hacia los taludes exteriores. El talud de aguas arriba tiene una inclinación de 2V:1H y el de aguas abajo varía entre 1V:1H, sobre y bajo una berma intermedia en la cota 945msnm, de 3 metros de ancho.
- Protección del talud de aguas abajo con capa de suelo vegetal y siembra plantas endémicas.
- Mejoramiento de la cimentación mediante la excavación general en toda el área, de alrededor de 15 metros. Es conveniente retirar limos, arenas limosas subyacentes, debido a su consistencia y densidad bajas.
- Ambos materiales pueden y deben ser reutilizados en las obras del sitio de presa, los inorgánicos en los rellenos proyectados sobre el talud de aguas arriba de la presa y los orgánicos sobre el talud de aguas abajo y en las zonas que deberán ser reconformadas al final del proyecto.
- La cota de coronación de la Presa 1 será igual a 954msnm, un ancho de corona de 4,5 m y en la Presa 2 de 943msnm con el ancho de corona igual 3,0 m.

2. Materiales

La presa estará conformada por materiales limo arcillosos de baja permeabilidad proveniente del material de excavación para la construcción de la relavera y por materiales granulares que se pueden adquirir a partir de las labores mineras subterráneas.

a. Núcleo

El material de excavación está conformado por limos y arenas limosas de alta y baja plasticidad con índices de permeabilidad relativamente bajas; los suelos limosos se clasifican como MH y los suelos arenosos como SM.

Se considera que todos estos suelos son aptos para ser colocados en el núcleo de la presa, excepto los suelos finos limosos con porcentajes mayores de 70 %, debido a su alto contenido de humedad.

El límite inferior del rango es de 20 % de finos, para garantizar una alta impermeabilidad de los materiales.

b. Filtros y espaldones

Los materiales para filtros y drenes deberán ser procesados mediante cribado y lavado para obtener las granulometrías especificadas. La especificación del material de filtro permite únicamente un porcentaje máximo de finos pasante la malla No. 200, de 5%.

Los materiales de filtros y drenes corresponden a materiales granulares más finos con tamaño máximo de 150 milímetros y para los materiales de espaldón el tamaño máximo del material será de 800 mm.

c. Distribución del material

Los materiales serán distribuidos de menor a mayor tamaño, desde el centro de la presa hacia los espaldones. En el centro se ubica el núcleo, luego están dispuestos los filtros y drenas, y hacia los espaldones, los suelos granulares, más gruesos conforme van hacia los taludes.

La función de cada material es la de proteger al suelo adyacente; el núcleo impermeable es protegido por capas de filtro y dren, y el material granular de los espaldones, además de proteger a los drenes proporcionan la estabilidad de la estructura.

El material de núcleo asegura una permeabilidad baja y una trabajabilidad óptima de los materiales, deben tener una humedad natural muy cercana a la humedad óptima de compactación.

La función del filtro del lado de aguas abajo es la de permitir el paso del agua pero impedir que material de núcleo pueda ser lavado por filtraciones concentradas que pueden ser ocasionadas por varias razones como un sismo o asentamientos diferenciales de consideración.

La zona de dren que va pegada a los filtros, que se presenta, permite que el agua que pasa por el filtro sea evacuada de manera libre, e impide que se produzcan presiones de poros elevadas en el material de núcleo, que podrían eventualmente disminuir su resistencia y estabilidad..

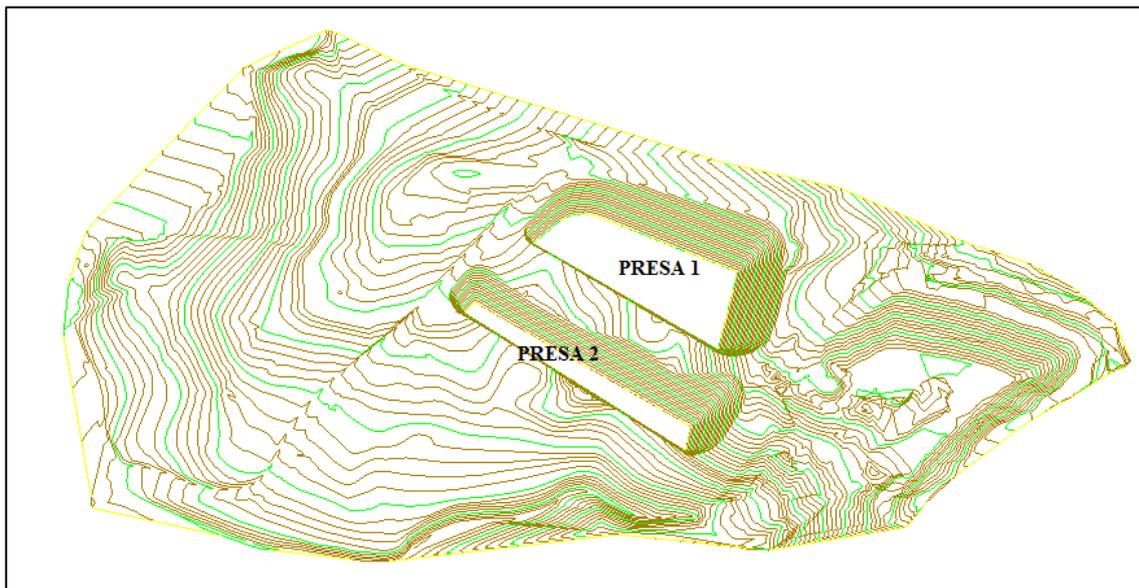
Los materiales de espaldones, presentados, brindan la estabilidad a la estructura. Su granulometría debe incrementarse paulatinamente dentro del espaldón, desde el extremo fino del rango en la zona adyacente al dren, al material más grueso hacia los taludes, para proporcionar la protección contra la erosión y el oleaje.

Para mayor estabilidad se ha de construir en las bases aguas debajo de las presas, un enrocado fino de cuatro metros de alto por 7 de ancho.

3. Volumen de excavación

Para el cálculo del material de excavación se utilizó el *Software Autodesk AutoCAD Civil 3D 2015*, mediante el método de comparación entre superficies; donde se tomó las curvas de nivel como superficie de terreno natural para compararlo con la superficie de terreno proyectado, es decir, la superficie de terreno natural con el corte de las presas, tomando las dimensiones y ángulos de taludes especificados anteriormente.

Gráfico 19: Excavación de las Presas 1 y 2



Elaboración: Pesantez, J (2014)

Del proceso anterior se obtiene un volumen de excavación total igual a 45.648m^3 , perteneciendo a la Presa 1 un volumen de corte igual a 26.295 m^3 y a la Presa 2 un volumen de corte igual a 19.393m^3 .

4. Capacidad de almacenamiento

Luego de obtener las áreas de excavación, ángulos de talud y la cota de coronación se procedió a estimar los volúmenes de almacenamiento, esto se realizó mediante el mismo proceso descrito anteriormente, dando como resultado una capacidad total de almacenamiento igual a $95.501,71$ metros cúbicos, distribuidos de la siguiente manera:

- Presa 1: $72.274,79$ metros cúbicos.
- Presa 2: $23.226,92$ metros cúbicos.

De acuerdo a la producción de la mina y el volumen de relaves proveniente de la planta de beneficio, las presas tendrán un tiempo de vida aproximado de 5 años.

VI. CONCLUSIONES

- A. La compañía Agroindustrial El Corazón se dedica a la explotación de minerales metálicos mediante labores subterráneas con una producción diaria de 120 ton; la extracción de oro y plata de la roca mineralizada se lo realiza en la Planta de Beneficio ubicado en la canchamina, actividad que genera desechos que contienen elementos pesados.
- B. Sobre el área donde se implantará el proyecto no se observa fallamiento regional; la falla más cercana es el Sistema Toachi ubicado aproximadamente de 1km a 1,5 km del proyecto por lo que no tendrá influencia directa sobre el mismo.
- C. Las investigaciones geológicas-geotécnicas realizadas en el proyecto estuvieron compuestas por: seis sondajes eléctricos verticales, tres perforaciones a rotación con ensayos de penetración estándar y ocho calicatas; adicionalmente se realizaron ensayos de laboratorio para determinar parámetros cuantitativos del terreno.
- D. Las condiciones hidrogeológicas para el sitio de cimentación de la presa pueden considerarse favorables, en función de los resultados de perforaciones geotécnicas, ensayos de permeabilidad y determinación del nivel freático.
- E. De los resultados de las investigaciones se determinó que en sector existen cuatro unidades geotécnicas, cuyas características se detallan en el siguiente cuadro:

UNIDAD GEOTÉCNICA UNO		UNIDAD GEOTÉCNICA TRES	
Limo de Alta Plasticidad (MH)		Limo de alta plasticidad (MH)	
Potencia del Estrato	0.30 - 0.90 m	Potencia del Estrato	<7 m
Número de Golpes SPT	10	Número de Golpes SPT	5
Cohesión	0.17 kg/cm ²	Cohesión	0.43 kg/cm ²
Angulo de Fricción Interna	10°	Angulo de Fricción Interna	12°
Permeabilidad	1,00E-03	Permeabilidad	1,00E-05
UNIDAD GEOTÉCNICA DOS		UNIDAD GEOTÉCNICA CUATRO	
Arena limosa (SM)		Toba altamente alterada	
Potencia del Estrato	0.30 - 2.00 m	Potencia del Estrato	>5 m
Número de Golpes SPT	7	Número de Golpes SPT	40
Cohesión	0.32 kg/cm ²	Cohesión	0.2 kg/cm ²
Angulo de Fricción Interna	21°	Angulo de Fricción Interna	7°
Permeabilidad	1,00E-03	Permeabilidad	1,00E-04

- F. El diseño de la relavera se propone construirla en dos fases, es decir, constará de dos piscinas de relaves, las mismas que tendrán una mayor capacidad de almacenamiento con el mínimo material de corte, utilizando como material de construcción la roca de caja proveniente de las labores mineras subterráneas.
- G. Se determinó que la mayor amenaza a la zona de investigación son los fenómenos sísmicos de acuerdo al mapa para el diseño sísmico realizado por Norma Ecuatoriana de la Construcción, y los fenómenos Hidrometeorológicos indicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).
- H. Para la evaluación de estabilidad de taludes se utilizó el software SLIDE 5.0 analizando condiciones estáticas y pseudoestáticas, obteniendo los siguientes factores de seguridad:

TALUD 1		
MÉTODO DE ESTABILIDAD DE TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO	FACTOR DE SEGURIDAD PSEUESTÁTICO
Bishop Simplificado	1,635	1,162
Janbú Simplificado	1,711	1,141
PROMEDIO	1,673	1,1515
TALUD 2		
MÉTODO DE ESTABILIDAD DE TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO	FACTOR DE SEGURIDAD PSEDOESTÁTICO
Bishop Simplificado	1,388	0,985
Janbú Simplificado	1,778	0,968
PROMEDIO	1,583	0,977
TALUD 3		
MÉTODO DE ESTABILIDAD DE TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO	FACTOR DE SEGURIDAD PSEDOESTÁTICO
Bishop Simplificado	1,392	1,043
Janbú Simplificado	1,558	0,997
PROMEDIO	1,475	1,02

- I. De acuerdo al diseño propuesto, el volumen del material de corte sería igual a 45.648 metros cúbicos y con la construcción de las dos piscinas de relaves se pretende almacenar un total de 95.501,71 metros cúbicos.

VII. RECOMENDACIONES

- A. Realizar trabajos adicionales para el cuidado de los taludes, como la construcción de cunetas de coronación para evitar que las aguas de escorrentía provoquen inestabilidad en los taludes.
- B. Del reconocimiento geológico de campo se recomienda que la cimentación de las presas se deberá construir sobre la unidad geotécnica cuatro, caracterizada por ser semipermeable, muy compacta y con baja probabilidad de asentamientos.
- C. Para la construcción de las presas se recomienda considerar las condiciones meteorológicas, debido a que el índice de precipitaciones es alto, elevando así el nivel freático dificultando la ejecución de la obra.

VIII. ABSTRACTO

La presente investigación propone: realizar la caracterización geológica-geotécnica en el Área Minera El Corazón, parroquia García Moreno, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura; para el diseño de una relavera. Utilizando técnicas de investigación bibliográficas, de campo a través de geofísica (sondajes eléctricos verticales), perforaciones geotécnicas, ensayos en situ (SPT, ensayos de permeabilidad, etc.) y excavación de calicatas, con recuperación de muestras para su posterior análisis durante la investigación experimental con el objetivo de conocer cuantitativamente las propiedades geomecánicas del terreno. Como resultado, se determinó cuatro unidades geotécnicas que van desde limos plásticos, arenas limosas hasta tobas alteradas muy compactas. Según el análisis de estabilidad de taludes con el programa Slide 5.0 para este tipo de litologías, nos da un factor de seguridad igual o mayor a 1,5 calificándolo como estable para condiciones estáticas y taludes de corte 1H: 1,5V. . La cimentación de las presas se realizará en la unidad geotécnica cuatro, por las propiedades geomecánicas favorables que presenta La alternativa de diseño que se propone consta de dos fases: construir dos piscinas de relaves obteniendo mayor capacidad de almacenamiento con el mínimo volumen de material excavado; el volumen de material de exacción se estima, sería igual a 45.648 metros cúbicos, parte de este material se utilizará para la construcción del núcleo de la presa y para proteger los espaldones de la misma aguas abajo, donde se revegetara con plantas endémicas. Se estimó que la capacidad de almacenamiento de las dos presas sería igual a 95.501,71 metros cúbicos; considerando que la planta de beneficio generaría aproximadamente 50 metros cúbicos de desechos por día, el tiempo de vida estimado de la relavera sería de 5 años.



IX. SUMMARY

The present investigation proposes: to make a geologic-geotechnical characterization in the Mining Area El Corazon, Garcia Moreno, Cotacachi Canton, province of Imbabura; for the design of a tailing. By means of bibliographic-investigation techniques, of field through Geophysics (vertical electric catheterization), geotechnical drilling, essays in situ (SPT, trials of permeability, etc.) and excavation of soil pits, with recovering of samples for afterwards analyses during the geo-mechanical properties of the soil. As a result, it was determined four geotechnical units that that go from plastic limes, limy sands till altered tuffs which are very compact. According to the analysis of taluses with the program Slide 5.0 for this type of lithology provides a factor of security more than or equal to 1,5 qualifying it as stable for the static conditions and sloped taluses 1H:1,5V. The cementation of the dams were made in the geotechnical unit four, for the favorable geo-mechanic that presents the design alternative that proposes account of two phases: to build pools of tailing obtaining a big capacity of storing with minimal volume of excavated material; the volume of the material of estimated exaction, would be equal to 45,648 cubic meters, part of this material will be used for the construction of nucleus of the dam and protect the shoulders of the same water down, where it will re vegetate with endemic plants. It was estimated that the capacity of storing of storing of both dams would be equal to 95,501.71 cubic meters considering that the plant of benefit would generate approximately 50 cubic meters of litter per day, the time life estimated of the tailing would be five years.



X . REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. BIBLIOGRAFÍA

- Aerick, R. (1997). Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina. EE.UU.: Fort Collins.
- Ayala, F. (1986). Manual de Taludes. Instituto Geológico y Minero de España.
- Baldock, D. J. (1983). Geología del Ecuador. Quito: D.G.G.M.
- Braja, M. (2001). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica México. Editorial Thomson.
- Cambefort, H. (1975). Geotecnia para Ingenieros. Editores Técnicos Asociados S.A.
- Casagrande, A. (1948). Classification and identification of soils, American Society of Civil. Engineers, Transaction, 113, 901-991.
- Dimitri, P. (1998). Principios de Geotecnia para Ingenieros. Editorial Omega.
- Gonzales de Vallejo, L. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid .Editorial Pearson Educación.
- Herrera, J. y Castilla, J. (2012). Utilización de Técnicas de sondeos en Estudios Geotécnicos. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Macabril, G., María, E., Serrano, B. (2010). Caracterización geológica geotécnica e hidrológica de la cuenca alta a media del Río San Rafael con fines de ordenamiento urbanístico y mejoras. Universidad de Oriente Venezuela.
- Sawyer, W. (1965). Geología del Ecuador. Quito: Editorial del Ministerio de Educación.

- SPIKINGS, R. A., SEWARD, D, WINKLER, W., & RUIZ, G. M., (2000). Low-temperature thermochronology of the northern Cordillera Real, Ecuador: Tectonic insights from zircon and apatite fission track analysis. *Tectonics*.
- Terzaghi, K. (Ed.). (2003). *Mecánica teórica de los suelos*. Buenos Aires.
- Vallejo, C. (2007), *Evolución geodinámica de la Cordillera Occidental (Cretácico tardío-Paleógeno)* [Ph.D. thesis] Zürich, Switzerland, Institute of Geology, ETH Zürich, 208.
- Wolf, T. (1976). *Geografía y Geología del Ecuador*. Quito: Editorial de la Casa de la Cultura Ecuatoriana.

B. WEBGRAFIA

- Norma Ecuatoriana de la Construcción. *Geotecnia y cimentaciones*. Disponible en: <http://www.cicp-ec.com/pdf/GEOTECNIA%20Y%20CIMENTACIONES.pdf>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. *Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente*. Disponible en: <http://www.cimeg.org.ec/normasnec/NEC2011-CAP.2.PELIGRO%20SISMICO%20Y%20REQUISITOS%20DE%20DISE%20%C3%91O%20SISMO%20RESISTENTE-021412.pdf>
- *Servicio Nacional de Sismología y vulcanología*: Disponible en: <http://www.igepn.edu.ec/>.
- Plaza, O. *Geología Aplicada*. Disponible en: <http://www.sisman.utm.edu.ec>

XI. ANEXOS

ANEXO A: Glosario de términos

A

Acuitardo: Acuífero de baja permeabilidad con capacidad de almacenar agua y ceder lentamente.

Afloramiento: exposición de una roca o suelo en superficie; este término se usa también para designar los manantiales.

Amenaza sísmica: Probabilidad de ocurrencia de eventos asociados con un sismo (movimientos de masa, rotura del terreno, fallas en superficie, deformación tectónica, inundaciones) que causen daños materiales o pérdidas de vidas en un lugar y en un lapso determinados.

Angulo de fricción interna, ϕ (grados): ángulo entre el eje de esfuerzos normales y la tangente a la envolvente de Mohr en un punto que representa una condición dada de esfuerzo de ruptura de un material sólido. El ángulo de fricción interna de un suelo corresponde al ángulo cuya tangente es el coeficiente promedio de fricción entre las partículas de un suelo.

Ángulo de reposo, α (grados): máximo ángulo sobre el plano horizontal en el que puede encontrarse un material sin deslizarse. Ángulo entre la horizontal y la máxima pendiente que toma un suelo en un proceso natural de acumulación, como el que ocurre en sotavento de las dunas o en la base de los depósitos de talud. En suelos granulares secos el efecto de la altura de la pendiente es despreciable.

Arcilla: suelo fino granular, o la porción fino granular de un suelo que puede presentar un comportamiento plástico dentro de un intervalo de contenido de humedad más o menos amplio, y que tiene una considerable resistencia al corte cuando se seca al aire. Este término ha sido utilizado para designar el conjunto de partículas de un suelo menores de $2\mu\text{m}$ ($5\mu\text{m}$ en algunos casos), pero existe suficiente evidencia que, desde el punto de vista de la ingeniería, las propiedades descritas en esta definición normalmente son más importantes que el solo tamaño de las partículas para la caracterización de los materiales arcillosos. Las propiedades de las arcillas dependen principalmente del tipo de minerales que las componen y de los cationes intercambiables que contienen. (Norma ASTM D653, Grim, 1962.

B

Basamento: complejo rocoso indiferenciado que se encuentra por debajo de las rocas o suelos de interés en un área.

C

Calicata: término genérico para designar un sondeo o excavación exploratoria, normalmente de poca profundidad.

Cementación: Proceso de consolidación de los materiales fragmentarios (bloques, gravas, arenas, limos, arcillas, etc.) por acción de un material más fino, o una solución al cual se le denomina matriz, y por un proceso inicial de diagénesis.

Clasificación de Atterberg: La clasificación de los materiales detríticos en función del tamaño e partícula. Arcilla <0.002 mm. Limo 0.002-0.02 mm. Arena.

D

Deformación plástica: Cuando una roca o material se deforma por acción de un esfuerzo y al cesar el esfuerzo la roca o material alterado conserva su deformación como las arcillas, argilitas, lutitas, pizarras, etc.

Deslizamiento: término genérico que comprende una amplia variedad de procesos de erosión en masa que incluye el transporte pendiente abajo de masas de suelo y de roca. Normalmente el material removido se desplaza a lo largo de una superficie o de una zona restringida de cizalladura, y es precedido, acompañado y seguido de una deformación perceptible a lo largo de la superficie de deslizamiento y en el interior de la masa de suelo afectado por estos procesos.

Diaclasa: plano de discontinuidad en un cuerpo rocoso, sin movimiento perceptible paralelo a la superficie de discontinuidad.

Densidad relativa: Medida de la compactación de un suelo dada por la relación porcentual entre (a) la diferencia entre la relación de vacíos de un suelo no cohesivo en su estado más suelto y cualquier relación de vacíos del suelo compactado y (b) la diferencia entre las relaciones de vacíos en sus estados más suelto y más denso. (Normas ASTM D4253 y D4254).

Diaclasa: es una fractura en las rocas que no va acompañada de deslizamiento de los bloques que determina, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal.

Dovela: es un elemento constructivo que conforma un arco.

E

Empuje activo: valor mínimo de la presión de tierras. La presión activa de tierras se presenta cuando se permite que una masa de suelo ceda hasta hacer que sea movilizada su resistencia interna a la cizalladura a lo largo de una superficie potencial de ruptura.

Empuje pasivo: presión de una masa de suelo contra una estructura de contención cuando la estructura es desplazada en dirección de la masa de suelo. La presión pasiva de tierras se presenta cuando una masa de suelo es sometida a compresión hasta hacer que sea movilizada su resistencia interna a la cizalla-dura a lo largo de una superficie potencial de ruptura; en tales condiciones se alcanza el valor máximo de la presión de tierra.

Ensayo de compresión triaxial: Prueba de laboratorio en la que una muestra de suelo es sometida simultáneamente a un esfuerzo de confinamiento, o esfuerzo principal menor, σ_3 , y a un esfuerzo de compresión, o esfuerzo principal mayor σ_1 , tal que la muestra de suelo se rompa o se deforme más allá de un límite preestablecido. El ensayo se repite con diferentes niveles de esfuerzo y, a partir de los resultados de este ensayo, puede obtenerse los parámetros de resistencia al corte, cohesión y ángulo de fricción interna del suelo (Normas ASTM D2850 y D4767).

Ensayo de penetración estándar: procedimiento de exploración y de muestreo de suelos que consiste en hincar en el suelo un muestreador de tubo partido o una herramienta similar, mediante la aplicación de golpes de un martillo de 63.5 kg, que se deja caer desde una altura de 0.75 m. Como medida de la resistencia a la penetración se registra el número de golpes necesarios para penetrar una distancia de 0.3 m. Este número, N, ha sido correlacionado con algunas propiedades relevantes del suelo, particularmente con sus parámetros de resistencia al corte, capacidad portante, densidad relativa, potencial de licuefacción, etc. (Norma ASTM D1586, Bowles, 1982, Seed, 1979).

F

Factor de seguridad: **1** Relación entre (a) la resistencia última de un material, (b) el esfuerzo admisible o de trabajo. **2.** Relación numérica entre(a) la capacidad teórica de soporte, (b) la capacidad admisible de soporte, o, alternativamente, el esfuerzo de contacto. **3.** En estabilidad de laderas, relación entre (a) las fuerzas o momentos resistentes, y (b) las fuerzas o momentos en una masa de suelo.

G

Geoforma: rasgo físico reconocible en la superficie de la tierra, con una forma propia característica. Las geoformas pueden tener una extensión tal que las haga asimilables a unidades geomorfológicas propiamente dichas como sería el caso de mesetas, valles, llanuras; es preferible reservar este término para rasgos individuales, identificables en cartografía a escalas entre 1:10 000 y 1:50 000, o menores, como escarpes, terrazas, conos volcánicos, taludes (s.s), abanicos aluviales, etc.

Geotecnia: Ciencia que estudia los procesos geodinámicos externos y la aplicación de los métodos ingenieriles para su control con el objeto de que los efectos destructivos de estos procesos sean mínimos.

Grado de compactación: Relación de la compactación de un suelo respecto a la compactación máxima posible con un determinado procedimiento. Se puede medir mediante el porcentaje de compactación o la relación de compactación.

Granulometría: Tecnología que se encarga de dictar las normas correspondientes para determinar las dimensiones y las formas de los fragmentos de los materiales detríticos.

H

Humedad natural: Contenido de agua de un suelo o de una roca tal como se encuentra en el terreno durante la operación de muestreo.

I

Índice de plasticidad, IP: Medida de la plasticidad de un suelo dado por el valor absoluto del intervalo de humedad en el que el suelo se comporta como un material

plástico, numéricamente el índice de plasticidad es igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico

L

Límite elástico: Esfuerzo máximo del intervalo en el que un material presenta un comportamiento elástico. Punto en la curva esfuerzo/deformación donde ocurre la transición del comportamiento elástico al inelástico.

Límites de Atterberg: conjunto de valores de los límites de retracción, plástico y líquido de un suelo.

M

Módulo de Young, E ($L^{-2}F^{-1}$): conocido también como módulo de elasticidad; relación entre el esfuerzo y la deformación lineal unitaria en el intervalo elástico de los materiales que se deforman de acuerdo con la ley de Hooke, al ser sometidos a fuerzas compresivas o de tracción. $E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$.

Método pseudo-estático: En este método se emplea el cálculo del factor de seguridad de la estabilidad de taludes por equilibrio límite, adicionando un coeficiente lateral sísmico.

N

N: expresión de la medida de la resistencia de los suelos a la penetración dada por el ensayo de penetración estándar.

Nivel freático: Altura a la que se encuentra el agua en una perforación; posición de la superficie superior del agua en un acuífero. En los acuíferos libres, el nivel freático coincide con el nivel piezométrico.

Normas ASTM: más frecuentemente utilizadas en la ingeniería de suelos.

P

Permeabilidad K (L^{-2}): Capacidad de una roca o de un suelo de permitir el paso de un fluido a través suyo. Medida de la relativa facilidad en que un fluido pasa a través de un material bajo una diferencia de presión dada. La permeabilidad es una característica del

material, independiente de las propiedades físicas del fluido que pasa a través suyo, y es diferente del coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

R

Resistencia al corte: Resistencia a la cizalladura.

S

Suelos Gruesos: Son aquellos suelos donde más del 50% de las partículas pasan por el tamiz N°200. Para distinguir si la fracción fina es de carácter limoso o arcillosos se emplea la siguiente figura que corresponde a la carta de plasticidad de Casa Grande.

T

Talud: **1.** Superficie inclinada en una excavación o en una explanación. **2.** Fragmentos de roca y de suelo, de cualquier tamaño y forma (normalmente angulares y grueso granulares) derivados de y acumulados al pie de un escarpe o de una pendiente rocosa empinada sin intervención de agua en el proceso de transporte. También la acumulación de tales fragmentos de roca, considerados como una unidad y formados principalmente por la caída, deslizamiento y rodadura de fragmentos de roca.

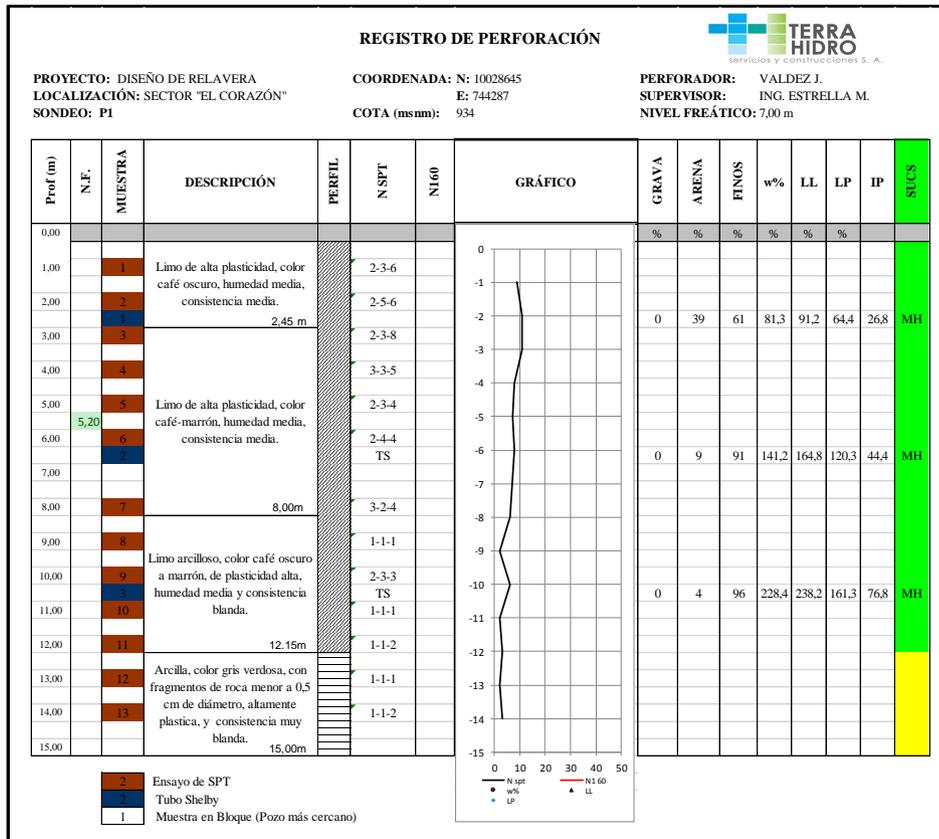
Z

Zona estable: expresión utilizada para calificar el terreno donde es muy baja la probabilidad de movimientos de masa o erosión lineal intensa. Corresponden a terrenos con una factor de seguridad igual a, o mayor que, 1.5.

Zona inestable: expresión utilizada para calificar el terreno donde la probabilidad de ocurrencia de movimientos de masa y erosión lineal intensa puede calificarse entre alta y muy alta. Corresponde a terrenos con factores de seguridad iguales a, o menores que, 1.1. La construcción en ellos de obras de superficie y estructuras subterráneas someras es muy costosa y exige análisis geotécnicos detallados y diseños especiales, con altos factores de seguridad, que las hacen factibles sólo en condiciones muy particulares.

ANEXO B: Log y Registro Fotográfico de los Sondeos

B-1: Sondeo P1



CAJA 1: 0-5m.

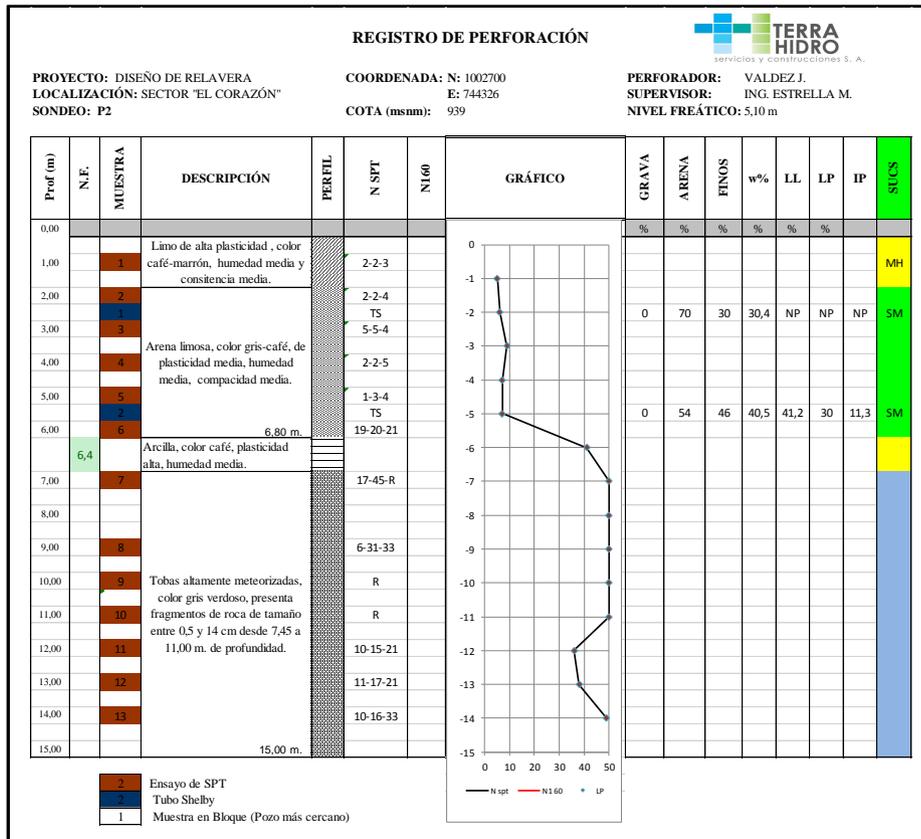


CAJA 2: 0-5m.



CAJA 3: 10-15m.

B-2: Sondeo P2



CAJA 1: 0-5 m.

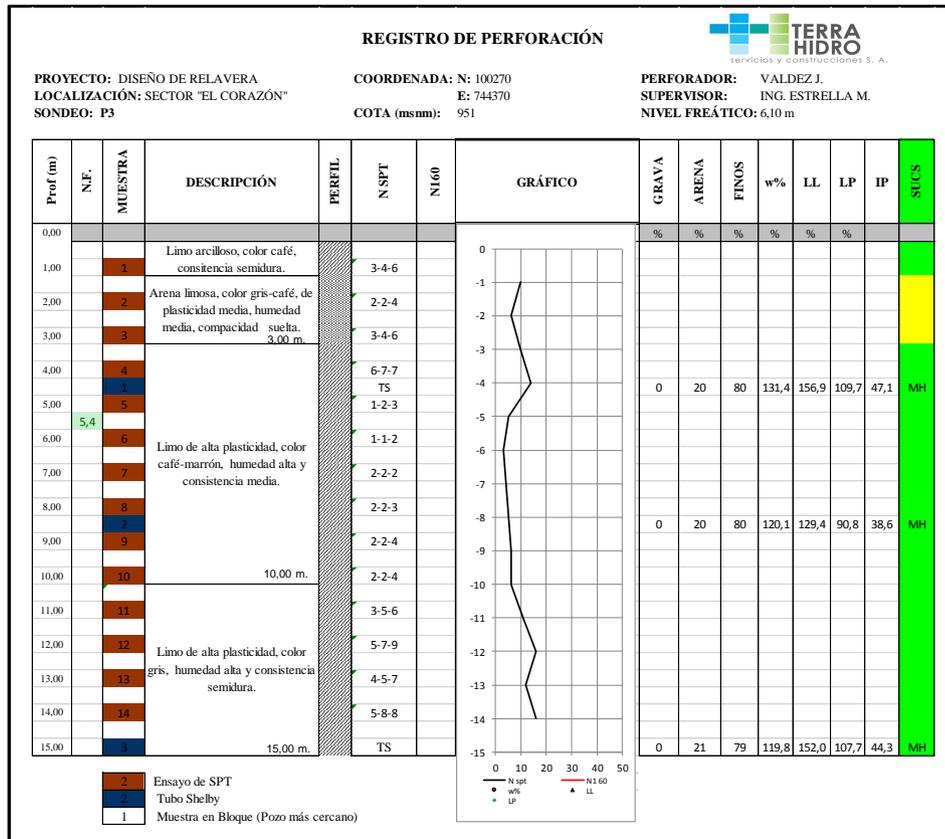


CAJA 2: 5-10m.



CAJA 3: 10-15m.

B-3: Sondeo P3



CAJA 1: 0-5 m.



CAJA 2: 5-10m.



CAJA 3: 10-15m.

ANEXO C: Registros de Ensayos de Permeabilidad

C-1: Lefranc Sondeo P1

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC N. 1			
SONDEO No.-	P1	PROYECTO:	DISEÑO DE LA RELAVERA
		SOBRECARGA :	50 cm
UBICACIÓN:	EL CORAZÓN	DIAMETRO REVESTIMIENTO:	86,00 mm
		PROFUNDIDAD DEL REVEST:	0,00 m
ENSAYO DE:	2,00 A 7,00 m	DIAMETRO DEL POZO:	7,57 cm
		LONGITUD TRAMO ENSAYADO:	500,00 cm
		NIVEL DE AGUA:	700,00 cm
DESARROLLO DE LA PRUEBA			
TIEMPO (min.)	TIEMPO (seg.)	LECTURA MEDIDOR (l)	CONSUMO Δ Q (cm ³ /min.)
0		0,00	
1	60	0,40	400,00
2	120	0,83	430,00
3	180	1,26	430,00
4	240	1,68	420,00
5	300	2,11	430,00
6	360	2,53	420,00
7	420	2,95	420,00
8	480	3,37	420,00
9	540	3,80	430,00
10	600	4,22	420,00
11	660	4,63	410,00
12	720	5,04	410,00
13	780	5,46	420,00
14	840	5,87	410,00
15	900	6,30	430,00
16	960	6,71	410,00
17	1020	7,13	420,00
18	1080	7,55	420,00
19	1140	7,97	420,00
20	1200	8,40	430,00
21	1260	8,82	420,00
22	1320	9,24	420,00
23	1380	9,66	420,00
24	1440	10,08	420,00
25	1500	10,50	420,00
26	1560	10,92	420,00
27	1620	11,35	430,00
28	1680	11,76	410,00
29	1740	12,18	420,00
30	1800	12,61	430,00
TOTAL	1800		12.610,00
CALCULO: VOLUMEN ABSORVIDO (V) = 12.610,00 cm³ CAUDAL (Q) = 7,006 cm³/seg. CARGA DE AGUA (hm) = 750,00 cm C = 643,235 K = 1,45E-05 cm/seg.			
$C = \frac{2pD\dot{O}(L/D)^2 - 1}{\ln(L/D + \dot{O}L/D^2 - 1)}$ $K = \frac{Q}{C \text{ hm}}$			
 <p>TERRA HIDRO servicios y construcciones S. A.</p>			
LITOLOGÍA DEL TRAMO			
ARCILLA			
OBSERVACIONES:			
REALIZADO POR: PESANTEZ J.			

C-2: Lefranc Sondeo P2

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC N. 1					
SONDEO No.-		P2		PROYECTO: DISEÑO DE LA RELAVERA	
		SOBRECARGA :		50 cm	
UBICACIÓN: RELAVERA "EL CORAZÓN"		DIAMETRO REVESTIMIENTO:		86,00 mm	
		PROFUNDIDAD DEL REVEST:		0,50 m	
ENSAYO DE: 0,50 A 3,00 m		DIAMETRO DEL POZO:		7,57 cm	
		LONGITUD TRAMO ENSAYADO:		250,00 cm	
		NIVEL DE AGUA:		250,00 cm	
DESARROLLO DE LA PRUEBA					
TIEMPO (min.)	TIEMPO (seg.)	LECTURA MEDIDOR (l)	CONSUMO Δ Q (cm ³ /min.)	CALCULO:	
0		0,00		VOLUMEN ABSORVIDO (V) = 281.000,00 cm ³	
1	60	11,10	11.100,00	CAUDAL (Q) = 156,111 cm ³ /seg.	
2	120	21,00	9.900,00	CARGA DE AGUA (hm) 300,00 cm	
3	180	30,00	9.000,00	C= 374,704	
4	240	40,00	10.000,00	K= 1,39E-03 cm/seg.	
5	300	50,00	10.000,00		
6	360	60,00	10.000,00		
7	420	70,40	10.400,00		
8	480	80,40	10.000,00		
9	540	90,00	9.600,00		
10	600	100,00	10.000,00		
11	660	109,60	9.600,00		
12	720	119,00	9.400,00		
13	780	128,00	9.000,00		
14	840	137,60	9.600,00		
15	900	147,00	9.400,00		
16	960	156,20	9.200,00		
17	1020	165,60	9.400,00		
18	1080	174,80	9.200,00		
19	1140	184,00	9.200,00		
20	1200	193,00	9.000,00		
21	1260	202,00	9.000,00		
22	1320	211,00	9.000,00		
23	1380	220,00	9.000,00		
24	1440	228,40	8.400,00		
25	1500	237,20	8.800,00		
26	1560	246,40	9.200,00		
27	1620	255,00	8.600,00		
28	1680	263,40	8.400,00		
29	1740	272,40	9.000,00		
30	1800	281,00	8.600,00		
TOTAL				1800	281.000,00
LITOLÓGÍA DEL TRAMO					
LIMO (0,95 m)					
ARENA LIMOSA (1,55 m)					
OBSERVACIONES:					
REALIZADO POR: PESÁNTEZ J.					

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC N. 2						
SONDEO No.-		P2		PROYECTO:	DISEÑO DE LA RELAVERA	
UBICACIÓN:		RELAVERA "EL CORAZÓN"		SOBRECARGA :	60 cm	
ENSAYO DE:		3,00 A 6,00 m		DIAMETRO REVESTIMIENTO:	86,00 mm	
				PROFUNDIDAD DEL REVEST:	3,00 m	
				DIAMETRO DEL POZO:	7,57 cm	
				LONGITUD TRAMO ENSAYADO:	300,00 cm	
				NIVEL DE AGUA:	510,00 cm	
DESARROLLO DE LA PRUEBA						
TIEMPO (min.)	TIEMPO (seg.)	LECTURA MEDIDOR (l)	CONSUMO Δ Q (cm ³ /min.)	CALCULO:		
0		0,00		VOLUMEN ABSORVIDO (V) =	282.800,00 cm ³	
1	60	11,00	11.000,00	CAUDAL (Q) =	157,111 cm ³ /seg.	
2	120	21,40	10.400,00	CARGA DE AGUA (hm)	570,00 cm	
3	180	32,20	10.800,00	C=	430,949	
4	240	43,00	10.800,00	K=	6,40E-04 cm/seg.	
5	300	53,30	10.300,00	$C = \frac{2pD\sqrt{(L/D)^2 - 1}}{\ln(L/D + \sqrt{L/D^2 - 1})}$ $K = \frac{Q}{C \cdot hm}$		
6	360	63,40	10.100,00			
7	420	73,20	9.800,00	 <p>TERRA HIDRO servicios y construcciones S. A.</p>		
8	480	83,00	9.800,00			
9	540	93,60	10.600,00			
10	600	103,60	10.000,00			
11	660	114,00	10.400,00			
12	720	124,00	10.000,00			
13	780	133,40	9.400,00			
14	840	143,40	10.000,00			
15	900	153,60	10.200,00			
16	960	163,60	10.000,00			
17	1020	173,20	9.600,00	LITOLOGÍA DEL TRAMO ARENA LIMOSA		
18	1080	182,80	9.600,00			
19	1140	192,00	9.200,00			
20	1200	201,20	9.200,00			
21	1260	210,80	9.600,00			
22	1320	219,00	8.200,00			
23	1380	227,20	8.200,00			
24	1440	236,20	9.000,00			
25	1500	244,00	7.800,00			
26	1560	251,60	7.600,00			
27	1620	259,60	8.000,00			
28	1680	267,40	7.800,00			
29	1740	275,00	7.600,00			
30	1800	282,80	7.800,00			
TOTAL	1800		282.800,00			
OBSERVACIONES:						
REALIZADO POR: PESÁNTEZ J.						

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC N. 3					
SONDEO No.-		P2		PROYECTO: DISEÑO DE LA RELAVERA	
UBICACIÓN: RELAVERA "EL CORAZÓN"		SOBRECARGA :		20 cm	
ENSAYO DE: 6,40 A 9,40 m		DIAMETRO REVESTIMIENTO:		86,00 mm	
		PROFUNDIDAD DEL REVEST:		6,40 m	
		DIAMETRO DEL POZO:		7,57 cm	
		LONGITUD TRAMO ENSAYADO:		300,00 cm	
		NIVEL DE AGUA:		630,00 cm	
DESARROLLO DE LA PRUEBA					
TIEMPO (min.)	TIEMPO (seg.)	LECTURA MEDIDOR (l)	CONSUMO Δ Q (cm ³ /min.)	CALCULO:	
0		0,00		VOLUMEN ABSORVIDO (V) =	640.400,00 cm ³
1	60	22,80	22.800,00	CAUDAL (Q) =	355,778 cm ³ /seg.
2	120	45,60	22.800,00	CARGA DE AGUA (hm)	650,00 cm
3	180	68,20	22.600,00	C=	430,949
4	240	91,00	22.800,00	K=	1,27E-03 cm/seg.
5	300	113,60	22.600,00	$C = \frac{2pD\ddot{O}(L/D)^2 - 1}{\ln(L/D + \ddot{O}L/D^2 - 1)}$ $K = \frac{Q}{C \text{ hm}}$	
6	360	134,80	21.200,00		
7	420	156,00	21.200,00	 TERRA HIDRO servicios y construcciones S. A.	
8	480	177,20	21.200,00		
9	540	198,80	21.600,00	LITOLOGÍA DEL TRAMO	
10	600	219,80	21.000,00		
11	660	241,20	21.400,00	LIMO	
12	720	262,60	21.400,00		
13	780	283,60	21.000,00	TOTAL	
14	840	304,60	21.000,00		
15	900	325,80	21.200,00	1800	
16	960	346,80	21.000,00	640.400,00	
17	1020	367,60	20.800,00	OBSERVACIONES:	
18	1080	388,40	20.800,00		
19	1140	409,40	21.000,00		
20	1200	430,40	21.000,00		
21	1260	451,40	21.000,00		
22	1320	472,40	21.000,00		
23	1380	493,40	21.000,00		
24	1440	514,40	21.000,00		
25	1500	535,40	21.000,00		
26	1560	556,80	21.400,00		
27	1620	577,60	20.800,00		
28	1680	598,60	21.000,00		
29	1740	619,60	21.000,00		
30	1800	640,40	20.800,00		
REALIZADO POR: PESÁNTEZ J.					

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC N. 5						
SONDEO No.-		P2		PROYECTO:	DISEÑO DE LA RELAVERA	
UBICACIÓN:		RELAVERA "EL CORAZÓN"		SOBRECARGA:	20,00 cm	
ENSAYO DE:		10,00 A 15,00 m		DIAMETRO REVESTIMIENTO:	86,00 mm	
				PROFUNDIDAD DEL REVEST:	10,00 m	
				DIAMETRO DEL POZO:	7,57 cm	
				LONGITUD TRAMO ENSAYADO:	500,00 cm	
				NIVEL DE AGUA:	610,00 cm	
DESARROLLO DE LA PRUEBA						
TIEMPO (min.)	TIEMPO (seg.)	LECTURA MEDIDOR (l)	CONSUMO Δ Q (cm/seg.)	CALCULO:		
0		0,00		VOLUMEN ABSORVIDO (V) =	163.200,00 cm ³	
1	60	5,20	5.200,000	CAUDAL (Q) =	90,667 cm ³ /seg.	
2	120	10,60	5.400,000	CARGA DE AGUA (hm)	630,00 cm	
3	180	16,00	5.400,000	C=	643,235	
4	240	21,60	5.600,000	K=	2,24E-04 cm/seg.	
5	300	27,00	5.400,000	$C = \frac{2pD\ddot{O}(L/D)^2 - 1}{\ln(L/D + \ddot{O} L/D^2 - 1)}$		
6	360	32,40	5.400,000	$K = \frac{Q}{C \text{ hm}}$		
7	420	38,00	5.600,000			
8	480	43,20	5.200,000			
9	540	48,60	5.400,000			
10	600	54,20	5.600,000			
11	660	59,80	5.600,000			
12	720	65,20	5.400,000			
13	780	70,60	5.400,000			
14	840	76,00	5.400,000			
15	900	81,40	5.400,000			
16	960	86,60	5.200,000			
17	1020	92,00	5.400,000			
18	1080	97,60	5.600,000			
19	1140	103,20	5.600,000			
20	1200	108,80	5.600,000			
21	1260	114,20	5.400,000			
22	1320	119,40	5.200,000			
23	1380	125,00	5.600,000			
24	1440	130,40	5.400,000			
25	1500	136,00	5.600,000			
26	1560	141,40	5.400,000			
27	1620	147,00	5.600,000			
28	1680	152,40	5.400,000			
29	1740	158,00	5.600,000			
30	1800	163,20	5.200,000			
				LITOLOGÍA DEL TRAMO		
				TOBAS METEORIZADAS		
TOTAL	1800		163.200,000			
OBSERVACIONES:						
REALIZADO POR: PESÁNTEZ J.						



C-3: Lefranc Sondeo P3

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC N. 1			
SONDEO No.-	P3	PROYECTO:	DISEÑO DE LA RELAVERA
		SOBRECARGA :	50 cm
UBICACIÓN:	RELAVERA "EL CORAZÓN"	DIAMETRO REVESTIMIENTO:	86,00 mm
		PROFUNDIDAD DEL REVEST:	2,00 m
ENSAYO DE:	2,00 A 5,00 m	DIAMETRO DEL POZO:	7,57 cm
		LONGITUD TRAMO ENSAYADO:	300,00 cm
		NIVEL DE AGUA:	500,00 cm
DESARROLLO DE LA PRUEBA			
TIEMPO (min.)	TIEMPO (seg.)	LECTURA MEDIDOR (l)	CONSUMO Δ Q (cm ³ /min.)
0		0,00	
1	60	0,16	160,00
2	120	0,33	170,00
3	180	0,48	150,00
4	240	0,66	180,00
5	300	0,82	160,00
6	360	0,99	170,00
7	420	1,16	170,00
8	480	1,31	150,00
9	540	1,49	180,00
10	600	1,64	150,00
11	660	1,80	160,00
12	720	1,98	180,00
13	780	2,15	170,00
14	840	2,31	160,00
15	900	2,47	160,00
16	960	2,63	160,00
17	1020	2,81	180,00
18	1080	2,99	180,00
19	1140	3,15	160,00
20	1200	3,31	160,00
21	1260	3,47	160,00
22	1320	3,65	180,00
23	1380	3,81	160,00
24	1440	3,99	180,00
25	1500	4,17	180,00
26	1560	4,33	160,00
27	1620	4,48	150,00
28	1680	4,66	180,00
29	1740	4,82	160,00
30	1800	4,99	170,00
TOTAL	1800		4.990,00
OBSERVACIONES:			
REALIZADO POR: PESÁNTEZ J.			

CALCULO:	
VOLUMEN ABSORVIDO (V) =	4.990,00 cm³
CAUDAL (Q) =	2,772 cm³/seg.
CARGA DE AGUA (hm)	550,00 cm
C=	430,949
K=	1,17E-05 cm/seg.
$C = \frac{2pD\bar{O}(L/D)^2 - 1}{\ln(L/D + \bar{O}L/D^2 - 1)}$	
$K = \frac{Q}{C \text{ hm}}$	

	
TERRA HIDRO servicios y construcciones S. A.	

LITOLOGÍA DEL TRAMO	
LIMO ARENOSO (1,00 m)	
LIMO DE ALTA PLASTICIDAD (2,00 m)	

ENSAYO DE PERMEABILIDAD TIPO LEFRANC N. 2			
SONDEO No.-	P3	PROYECTO:	DISEÑO DE LA RELAVERA
		SOBRECARGA :	20 cm
UBICACIÓN:	RELAVERA "EL CORAZÓN"	DIAMETRO REVESTIMIENTO:	86,00 mm
		PROFUNDIDAD DEL REVEST:	5,00 m
ENSAYO DE:	5,00 A 10,00 m	DIAMETRO DEL POZO:	7,57 cm
		LONGITUD TRAMO ENSAYADO:	500,00 cm
		NIVEL DE AGUA:	1.000,00 cm
DESARROLLO DE LA PRUEBA			
TIEMPO (min.)	TIEMPO (seg.)	LECTURA MEDIDOR (l)	CONSUMO Δ Q (cm3/min.)
0		0,00	
1	60	0,09	90,00
2	120	0,18	90,00
3	180	0,28	100,00
4	240	0,38	100,00
5	300	0,48	100,00
6	360	0,58	100,00
7	420	0,69	110,00
8	480	0,79	100,00
9	540	0,88	90,00
10	600	0,99	110,00
11	660	1,10	110,00
12	720	1,19	90,00
13	780	1,28	90,00
14	840	1,39	110,00
15	900	1,49	100,00
16	960	1,58	90,00
17	1020	1,69	110,00
18	1080	1,78	90,00
19	1140	1,88	100,00
20	1200	1,99	110,00
21	1260	2,08	90,00
22	1320	2,19	110,00
23	1380	2,28	90,00
24	1440	2,38	100,00
25	1500	2,49	110,00
26	1560	2,59	100,00
27	1620	2,68	90,00
28	1680	2,78	100,00
29	1740	2,87	90,00
30	1800	2,96	90,00
TOTAL	1800		2.960,00
<p>CALCULO:</p> <p>VOLUMEN ABSORVIDO (V) = 2.960,00 cm³</p> <p>CAUDAL (Q) = 1,644 cm³/seg.</p> <p>CARGA DE AGUA (hm) 1020,00 cm</p> <p>C= 643,235</p> <p>K= 2,51E-06 cm/seg.</p> $C = \frac{2pD\bar{O}(L/D)^2 - 1}{\ln(L/D + \bar{O}L/D^2 - 1)}$ $K = \frac{Q}{C \text{ hm}}$			
<p>LITOLOGÍA DEL TRAMO</p> <p>LIMO DE ALTA PLASTICIDAD</p>			
OBSERVACIONES:			
REALIZADO POR: PESÁNTEZ J.			



ANEXO D: Descripción de Calicatas

EXCAVACIÓN DE CALICATAS									
PROYECTO: DISEÑO DE PISCINA DE RELAVES					CALICATA: C-1				
UBICACIÓN: ÁREA MINERA "EL CORAZÓN"					PROFUNDIDAD: 1,60 cm.				
COORDENADA: N: 10028731					COTA: 946 msnm.				
E: 744290									
FOTOGRAFÍA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	VELETA			PENETRÓMETRO		SUCS	
			V1 Ton/ft ²	V2 Ton/ft ²	VC Ton/ft ²	P1 Kgf/cm ²	P2 Kgf/cm ²		
	0,00	Cobertura vegetal 0,16 m	0,30	0,30	0,40	1,75	2,00	MH	
	0,10								
	0,20								
	0,30	Limo de alta plasticidad, color café, contiene arcillas, medianamente húmedo, consistencia media. 0,80 m							
	0,40								
	0,50								
0,60	Arena limosa de baja plasticidad, color gris, humedad media, compacidad media.								
0,70									
0,80									
0,90									
1,00	Limo de alta plasticidad, color café, humedad media, consistencia baja. 1,60 m	0,25	0,30	0,38	3,75	4,00	SM		
1,10									
1,20									
1,30			0,30	0,35	0,44	2,00	2,50	MH	
1,40									
1,50									
1,60									
NIVEL FREÁTICO (m)		S/NF		V1 y V2 = Lectura de campo Vc = Lectura corregida P1 y P2 = lectura de campo					
OBSERVACIÓN									

EXCAVACIÓN DE CALICATAS									
PROYECTO: DISEÑO DE PISCINA DE RELAVES					CALICATA: C-2				
UBICACIÓN: ÁREA MINERA "EL CORAZÓN"					PROFUNDIDAD: 2,10 m.				
COORDENADA: N: 10028766					COTA: 949 msnm.				
E: 744318									
FOTOGRAFÍA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	VELETA			PENETRÓMETRO		SUCS	
			V1 Ton/ft ²	V2 Ton/ft ²	VC Ton/ft ²	P1 Kgf/cm ²	P2 Kgf/cm ²		
	0,00	Cobertura vegetal 0,25 m	0,30	0,35	0,44	2,00	2,25	MH	
	0,10								
	0,20								
	0,30	Limo de alta plasticidad, color café, contiene arcillas, medianamente húmedo, consistencia media. 1,20 m							
	0,40								
	0,50								
	0,60								
	0,70	Arena limosa, color gris, de plasticidad baja a nula, humedad media, compacidad media. 1,90 m							
	0,80								
	0,90								
1,00									
1,10	Limo de alta plasticidad, color café, humedad media, consistencia baja.	0,35	0,40	0,48	3,75	4,00	SM		
1,20									
1,30									
1,40			1,90	2,00	2,10		MH		
1,50									
1,60									
1,70									
1,80									
1,90									
2,00									
2,10									
NIVEL FREÁTICO (m)		S/NF		V1 y V2 = Lectura de campo Vc = Lectura corregida P1 y P2 = lectura de campo					
OBSERVACIÓN									

EXCAVACIÓN DE CALICATAS								
PROYECTO: DISEÑO DE PISCINA DE RELAVES			CALICATA: C-3					
UBICACIÓN: ÁREA MINERA "EL CORAZÓN"			PROFUNDIDAD: 1,80 m.					
COORDENADA: N: 10028777 E: 744360			COTA: 956 msnm.					
FOTOGRAFÍA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	VELETA			PENETRÓMETRO		SUCS
			V1 Ton/ft ²	V2 Ton/ft ²	VC Ton/ft ²	P1 Kg/cm ²	P2 Kg/cm ²	
	0,00	Cobertura vegetal 0,25 m	0,30	0,30	0,40	4,75	4,00	MH
	0,10							
	0,20							
	0,30							
	0,40	Limo de alta plasticidad, color café, humedad media, consistencia media.						
	0,50							
0,60	Arena limosa, color gris, de plasticidad nula, humedad media, compacidad media. 1,00 m							
0,70								
0,80								
0,90	Limo de alta plasticidad, con bajo contenido de arena fina, color gris a café claro, humedad media, consistencia media. 1,50 m							
1,00								
1,10								
1,20	Limo de alta plasticidad, color café, humedad media, consistencia media. 1,80 m							
1,30								
1,40								
1,50								
1,60								
1,70								
1,80								
NIVEL FREÁTICO (m)		S/NF						
OBSERVACIÓN				V1 y V2 = Lectura de campo Vc = Lectura corregida P1 y P2 = lectura de campo				



EXCAVACIÓN DE CALICATAS								
PROYECTO: DISEÑO DE PISCINA DE RELAVES			CALICATA: C-4					
UBICACIÓN: ÁREA MINERA "EL CORAZÓN"			PROFUNDIDAD: 2,00 m.					
COORDENADA: N: 10028770 E: 744392			COTA: 957 msnm.					
FOTOGRAFÍA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	VELETA			PENETRÓMETRO		SUCS
			V1 Ton/ft ²	V2 Ton/ft ²	VC Ton/ft ²	P1 Kg/cm ²	P2 Kg/cm ²	
	0,00	Cobertura vegetal 0,20 m	0,40	0,45	0,53	4,25	4,50	MH
	0,10							
	0,20							
	0,30	Limo de alta plasticidad, color café, humedad media, consistencia media. 0,75 m						
	0,40							
	0,50							
	0,60	Arena limosa, color gris, de plasticidad nula, humedad media, compacidad media.						
	0,70							
	0,80							
	0,90	Limo arenoso, color gris a café claro, de plasticidad media a baja, humedad media. 1,50 m						
1,00								
1,10								
1,20	Limo de alta plasticidad, color café-marrón, humedad media, consistencia baja. 2,00 m							
1,30								
1,40								
1,50								
1,60								
1,70								
1,80								
1,90								
2,00								
NIVEL FREÁTICO (m)		S/NF						
OBSERVACIÓN				V1 y V2 = Lectura de campo Vc = Lectura corregida P1 y P2 = lectura de campo				



EXCAVACIÓN DE CALICATAS									
PROYECTO: DISEÑO DE PISCINA DE RELAVES			CALICATA: C-5						
UBICACIÓN: ÁREA MINERA "EL CORAZÓN"			PROFUNDIDAD: 2,00 m.						
COORDENADA: N: 10028715			COTA: 950 msnm.						
E: 744360									
FOTOGRAFÍA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	VELETA			PENETRÓMETRO		SUCS	
			V1 Ton/ft ²	V2 Ton/ft ²	VC Ton/ft ²	P1 Kg/cm ²	P2 Kg/cm ²		
	0,00	Cobertura vegetal 0,20 m	0,40	0,45	0,53	4,25	4,50	MH	
	0,10								
	0,20								
	0,30	Limo de alta plasticidad, color café, humedad media, consistencia media. 0,70 m							
0,40									
0,50	Arena limosa, color gris, de plasticidad baja a nula, humedad media, compacidad media. 1,70 m	0,15	0,10	0,25	1,75	2,00	SM		
0,60									
0,70									
0,80									
0,90									
1,00									
1,10									
1,20									
1,30	Limo de alta plasticidad, color café marrón, humedad media, consistencia baja.	0,15	0,10	0,25	1,75	2,00	MH		
1,40									
1,50									
1,60									
1,70									
1,80									
1,90									
2,00									
NIVEL FREÁTICO (m)		S/NF							
OBSERVACIÓN				V1 y V2 = Lectura de campo Vc = Lectura corregida P1 y P2 = lectura de campo					

EXCAVACIÓN DE CALICATAS									
PROYECTO: DISEÑO DE PISCINA DE RELAVES			CALICATA: C-6						
UBICACIÓN: ÁREA MINERA "EL CORAZÓN"			PROFUNDIDAD: 1,70 m.						
COORDENADA: N: 10028691			COTA: 944 msnm.						
E: 744338									
FOTOGRAFÍA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	VELETA			PENETRÓMETRO		SUCS	
			V1 Ton/ft ²	V2 Ton/ft ²	VC Ton/ft ²	P1 Kg/cm ²	P2 Kg/cm ²		
	0,00	Cobertura vegetal 0,20 m	0,25	0,30	0,38	3,75	4,00	MH	
	0,10								
	0,20								
	0,30	Arena limosa, color gris, de plasticidad baja a nula, humedad media, compacidad media. 0,70 m							
0,40									
0,50	Limo de alta plasticidad, color café marrón, humedad media, consistencia baja. 1,70 m	0,25	0,28	0,37	2,25	2,00	MH		
0,60									
0,70									
0,80									
0,90									
1,00									
1,10									
1,20									
1,30									
1,40									
1,50									
1,60									
1,70									
NIVEL FREÁTICO (m)		S/NF							
OBSERVACIÓN				V1 y V2 = Lectura de campo Vc = Lectura corregida P1 y P2 = lectura de campo					

EXCAVACIÓN DE CALICATAS				
PROYECTO: DISEÑO DE PISCINA DE RELAVES		CALICATA: C-7		
UBICACIÓN: ÁREA MINERA "EL CORAZÓN"		PROFUNDIDAD: 1,70 m		
COORDENADA: N: 10028751		COTA: 951 msnm.		
E: 744350				
FOTOGRAFÍA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	SUCS	
	0,00	Cobertura vegetal	MH	
	0,10			0,20 m
	0,20			
	0,30	Limo de alta plasticidad, color café, humedad media, consistencia media.	MH	
	0,40			0,60 m
	0,50			
	0,60			
	0,70	Arena limosa, color gris, de plasticidad baja a nula, humedad media, compacidad media.	SM	
	0,80			1,20 m
	0,90			
1,00				
1,10				
1,20	Limo de alta plasticidad, color café-marrón, humedad media, consistencia baja.	MH		
1,30			1,70 m	
1,40				
1,50				
1,60				
1,70				
NIVEL FREÁTICO (m)		S/NF		
OBSERVACIÓN				

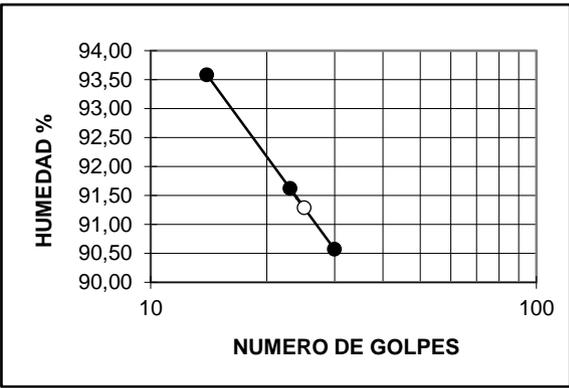
EXCAVACIÓN DE CALICATAS				
PROYECTO: DISEÑO DE PISCINA DE RELAVES		CALICATA: C-8		
UBICACIÓN: ÁREA MINERA "EL CORAZÓN"		PROFUNDIDAD: 1,70 m.		
COORDENADA: N: 10028716		COTA: 942 msnm.		
E: 744323				
FOTOGRAFÍA	PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	SUCS	
	0,00	Cobertura vegetal	MH	
	0,10			0,30 m
	0,20			
	0,30	Limo arcilloso, color café, de plasticidad alta, humedad media, consistencia media.	MH	
	0,40			1,00
	0,50			
	0,60			
	0,70			
	0,80	Arena limosa, color gris, de plasticidad baja a nula, humedad media, compacidad media.	SM	
	0,90			2,00 m
1,00				
1,10				
1,20				
1,30				
1,40				
1,50				
1,60				
1,70				
1,80				
1,90				
2,00				
NIVEL FREÁTICO (m)		S/NF		
OBSERVACIÓN				

ANEXO E: Resumen de Muestras Ensayadas

SONDEO /CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ENSAYOS			
			SUCS	COMPRESIÓN SIMPLE	TRIAXIALES (NS)	COMPACTACIÓN
P1	M1	2,45 - 3,00	X		X	
	M2	6,45 - 7,00	X		X	
	M3	10,45 - 11	X			
P2	M1	2,45 - 3,00	X		X	
	M2	5,45 - 6,00	X	X		
	M3	6,75 - 6,95		X		
	M4	11,70 - 12,00		X		
P3	M1	4,45 - 5,00	X		X	
	M2	8,45 - 9,00	X		X	
	M3	9,70 - 10,00		X		
	M4	14,45 - 15,00	X		X	
CL-1	M1	0,50 - 0,70	X		X	
	M2	1,30 - 1,50	X		X	
CL-2	M1	0,80 - 1,00	X		X	
	M2	1,60 - 1,80	X		X	
CL-3	M1	1,00 - 1,20	X		X	
CL-4	M1	1,80 - 2,00	X		X	
CL-5	M1	0,50-0,70	X		X	X
CL-6	M1	0,80 - 1,00	X		X	
CL-7	M1	0,70 - 1,20	X		X	
	M2	1,30 - 1,70	X		X	

ANEXO F: Resultados de los Ensayos Realizados

F-1: Ensayos de clasificación

ENSAYO DE CLASIFICACION (NORMA ASTM D2487-06)				 servicios y construcciones S. A.			
PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN".				SONDE : P-1			
OBRA : PISCINA DE RELAVES				MUESTRA No : P1 - 1			
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN"				PROFUNDIDAD : 2,45-3,00 m.			
				CALCULADO POR : ING. ALVAREZ			
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05							
No. Golpes	Capsula No	Peso Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor	
	1	75,06	50,46	20,17	81,21		
	2	74,20	50,00	20,26	81,37	81,29	
LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05							
30	3	36,68	27,61	17,60	90,61		
23	4	33,53	26,05	17,88	91,55		
14	5	38,65	28,55	17,76	93,61	91,29	
LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06							
	6	14,79	13,01	10,22	63,80		
	7	13,18	11,42	8,67	64,00		
	8	14,12	12,32	9,57	65,45	64,42	
Peso de la muestra húmeda		114,68 g					
Peso de la muestra seca		63,26 g					
GRANULOMETRIA NORMA ASTM D422-63							
TAMIZ	Peso Retenido	% retenido	% q' pasa				
2"		0,00	100,00				
1 1/2"		0,00	100,00				
1"		0,00	100,00				
3/4"		0,00	100,00				
1/2"		0,00	100,00				
3/8"		0,00	100,00				
No 4		0,00	100,00				
No 10		0,00	100,00				
No 40	0,22g	0,35	99,65				
No 200	24,62g	38,92	61,08				
GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO							
							
Grava		0%		LL		91,3%	
Arena		39%		LP		64,4%	
Finos		61%		IP		26,9%	
				SUCS		MH	
				AASHTO		A-7-5	
				IG(86)		20	

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN". **SONDEO** : P-1
 : PISCINA DE
OBRA RELAVES **MUESTRA No** : P1 - 2
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 6,45-7,00 m.
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	Peso Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	74,39	42,80	20,53	141,85	
	2	66,52	38,61	18,76	140,60	141,23

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

35	3	36,87	26,78	20,53	161,44	
22	4	35,30	24,93	18,69	166,19	
12	5	37,28	24,89	17,64	170,90	164,64

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

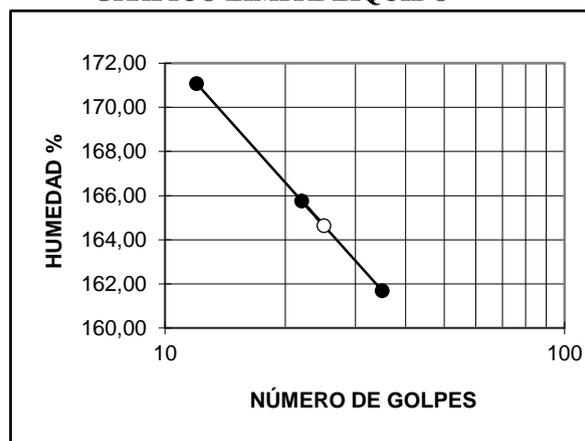
	6	11,24	8,81	6,78	119,70	
	7	12,14	10,31	8,80	121,19	
	8	13,87	11,78	10,04	120,11	120,34

113,42
 Peso de la muestra húmeda g
 Peso de la muestra seca 47,02 g

**GRANULOMETRÍA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	Peso Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10		0,00	100,00
No 40	0,28g	0,60	99,40
No 200	4,03g	8,57	91,43

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



Grava	0%
Arena	9%
Finos	91%

LL	164,6%
LP	120,3%
IP	44,3%

SUCS	MH
AASHTO	A-7-5
IG(86)	73

ENSAYO DE CLASIFICACION

(NORMA ASTM D2487-06)

**PROYECTO:** AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

PISCINA DE

OBRA: RELAVES**UBICACIÓN:** SECTOR "EL CORAZÓN"**SONDEO** : P-1**MUESTRA No** : P1 - 3**PROFUNDIDAD** : 10,45-11,00 m.**CALCULADO POR** : ING. ALVAREZ**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05**

No. Golpes	Capsula No	Peso Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	65,30	33,47	19,54	228,50	
	2	63,18	33,17	20,02	228,21	228,36

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

31	3	35,82	25,06	20,46	233,91	
20	4	37,93	24,99	19,66	242,78	
12	5	38,50	25,63	20,52	251,86	238,18

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

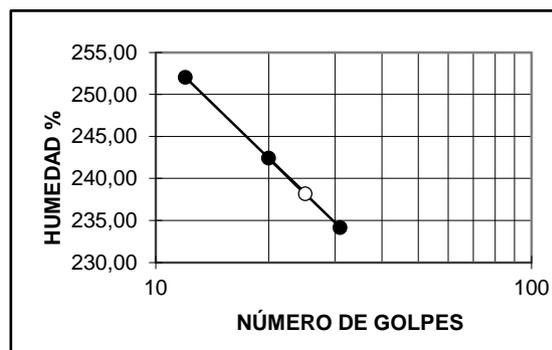
	6	10,88	9,27	8,27	161,00	
	7	11,51	9,95	8,99	162,50	
	8	11,22	10,00	9,24	160,53	161,34

Peso de la muestra húmeda 115,78 g

Peso de la muestra seca 35,26 g

GRANULOMETRIA NORMA ASTM D422-63

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10		0,00	100,00
No 40	0,08g	0,23	99,77
No 200	1,27g	3,60	96,40

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO

Grava	0%
Arena	4%
Finos	96%

LL	238,2%
LP	161,3%
IP	76,8%

SUCS	MH
AASHTO	A-7-5
IG(86)	128

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D 2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **SONDEO** : P-2
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : P2 - 1
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 2,45-3,00m.
: ING.
CALCULADO POR ALVAREZ

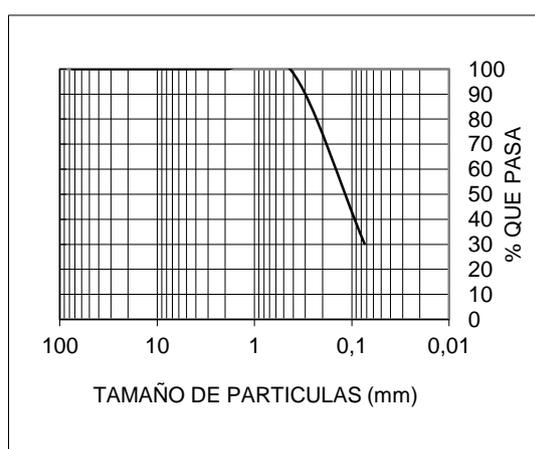
	NORMA ASTM	P.CAP · S. HUM. (g)	P.CAP. S. SECO (g)	PESO CÁPSULA (g)	HUMEDAD (%)	HUMEDAD PROMEDIO (%)
HUMEDAD NATURAL	D 2216-05	81,18 73,21	66,94 61,05	20,34 20,74	30,56 30,17	30,36
LÍMITE LÍQUIDO	D 4318-05	MATERIAL NO PLASTICO				
LÍMITE PLÁSTICO	D4318-06	MATERIAL NO PLASTICO				

PESO DE LA MUESTRA HUMEDA 111,66 g
PESO DE LA MUESTRA SECA 85,65 g

GRANULOMETRÍA
(NORMA ASTM D 422-63)

CURVA GRANULOMETRICA

TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% Q' PASA
3"		0,0	100,0
2"		0,0	100,0
1 1/2"		0,0	100,0
1"		0,0	100,0
3/4"		0,0	100,0
1/2"		0,0	100,0
3/8"		0,0	100,0
No 4		0,0	100,0
No 10		0,0	100,0
No 40	0,46	0,5	99,5
No 200	59,75	69,8	30,2



GRAVA	0%
ARENA	70%
FINOS	30%

SUCS	SM
AASHTO	A-2-4
IG.	0

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **SONDEO** : P-2
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : P2 - 2
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 5,45-6,00 m.
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. capsula	Humedad	Media/valor
	1	82,00	64,20	20,42	40,66	
	2	83,02	65,06	20,47	40,28	40,47

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

34	3	34,70	29,87	17,79	39,98	
20	4	38,62	32,65	18,49	42,16	
12	5	39,95	33,98	20,45	44,12	41,23

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

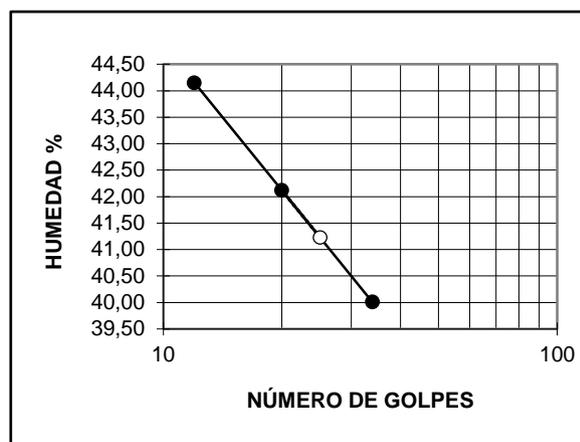
	6	15,47	14,00	9,01	29,46	
	7	14,07	12,92	9,12	30,26	
	8	15,58	14,11	9,24	30,18	29,97

Peso de la muestra húmeda 148,14 g
 Peso de la muestra seca 105,46 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10	0,23g	0,22	99,78
No 40	4,06g	3,85	96,15
No 200	57,33g	54,36	45,64

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



Grava	0%
Arena	54%
Finos	46%

LL	41,2%
LP	30,0%
IP	11,3%

SUCS	SM
AASHTO	A-7-6
IG(86)	3

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **SONDEO** : P-3
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : P3-1
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 4,45-5,00 m.
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	70,20	42,15	20,80	131,38	
	2	68,89	40,92	19,69	131,75	131,56

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

32	3	34,14	23,98	17,43	155,11	
27	4	33,56	23,78	17,53	156,48	
15	5	38,79	26,29	18,56	161,71	157,22

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

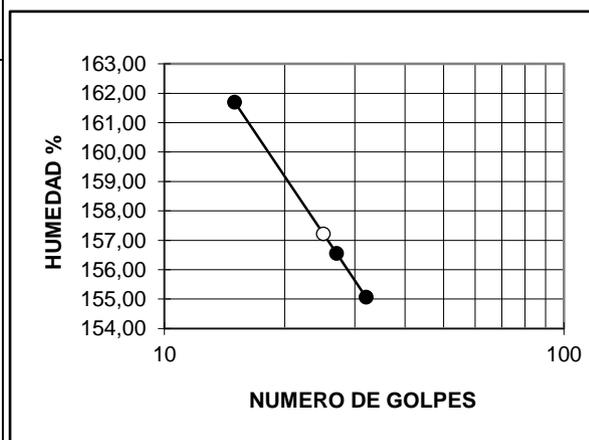
	6	12,12	10,10	8,28	110,99	
	7	13,59	11,90	10,35	109,03	
	8	11,87	10,20	8,67	109,15	109,72

Peso de la muestra húmeda 103,11 g
 Peso de la muestra seca 44,53 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10	0,06g	0,13	99,87
No 40	0,31g	0,70	99,30
No 200	8,80g	19,76	80,24

GRAFICO LIMITE LIQUIDO



Grava	0%
Arena	20%
Finos	80%

LL	157,2%
LP	109,7%
IP	47,5%

SUCS	MH
AASHTO	A-7-5
IG(86)	60

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **SONDEO** : P-3
PISCINA DE
OBRA: RELAVES **MUESTRA No** : P3-2
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 8,45-9,00 m.
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	70,33	43,18	20,67	120,61	
	2	82,84	48,74	20,22	119,57	120,09

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

35	3	31,96	21,95	14,05	126,71	
26	4	35,83	25,89	18,19	129,09	
11	5	40,45	27,86	18,64	136,55	129,52

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

	6	13,36	11,04	8,48	90,63	
	7	14,39	11,95	9,28	91,39	
	8	13,57	11,40	9,00	90,42	90,81

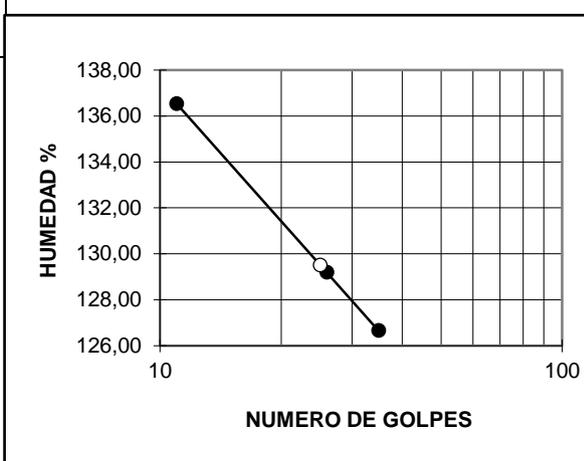
Peso de la muestra húmeda 141,35 g

Peso de la muestra seca 64,22 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10		0,00	100,00
No 40	0,15g	0,23	99,77
No 200	13,09g	20,38	79,62

GRÁFICO LÍMITE LÍQUIDO



Grava	0%
Arena	20%

LL	129,5%
LP	90,8%

SUCS	MH
AASHTO	A-7-5

Finos	80%	IP	38,7%	IG(86)	47
--------------	-----	-----------	-------	---------------	----

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **SONDEO** : P-3
PISCINA DE
OBRA: RELAVES **MUESTRA No** : P3-3
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 14,45-15,00 m.
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	72,87	44,39	20,50	119,21	
	2	70,71	43,26	20,46	120,39	119,80

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

30	3	37,23	25,63	17,93	150,65	
23	4	39,35	26,96	18,83	152,40	
12	5	33,32	20,86	12,97	157,92	151,95

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

	6	12,68	10,49	8,46	107,88	
	7	14,58	12,29	10,17	108,02	
	8	10,68	8,56	6,58	107,07	107,66

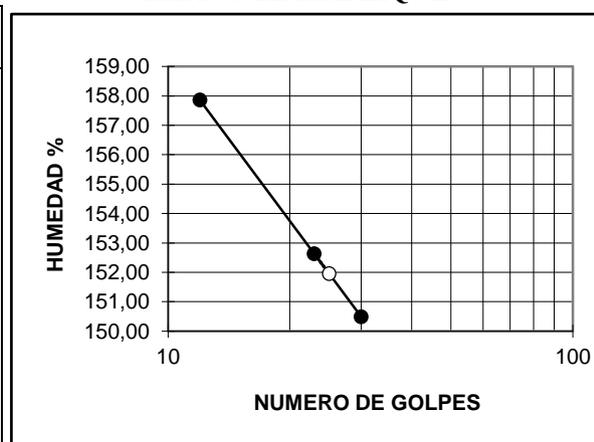
Peso de la muestra húmeda 127,92 g

Peso de la muestra seca 58,20 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10	0,16g	0,27	99,73
No 40	0,44g	0,76	99,24
No 200	12,04g	20,69	79,31

GRAFICO LIMITE LIQUIDO



Grava	0%	LL	152,0%	SUCS	MH
--------------	----	-----------	--------	-------------	-----------

Arena	21%	LP	107,7%	AASHTO	A-7-5
Finos	79%	IP	44,3%	IG(86)	56

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **CALICATA** : C-1
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : C1-1
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 0,50-0,70 m.
: ING.
CALCULADO POR ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	77,16	55,94	20,55	59,96	
	2	69,14	50,82	20,52	60,46	60,21

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

35	3	38,68	32,00	21,79	65,43	
23	4	34,31	27,89	18,19	66,19	
13	5	36,82	27,73	14,23	67,33	66,06

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

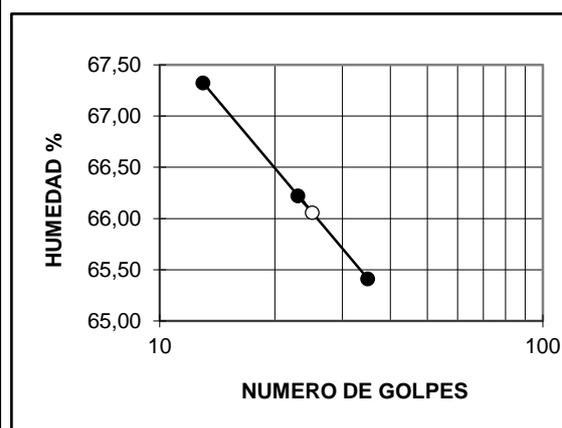
	6	10,71	10,17	8,99	45,76	
	7	11,33	10,62	9,10	46,71	
	8	12,04	11,17	9,24	45,08	45,85

Peso de la muestra húmeda 156,17 g
Peso de la muestra seca 97,48 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10		0,00	100,00
No 40	3,26g	3,34	96,66
No 200	3,28g	3,36	96,64

GRAFICO LIMITE LIQUIDO



Grava	0%
Arena	3%
Finos	97%

LL	66,1%
LP	45,9%
IP	20,2%

SUCS	MH
AASHTO	A-7-5
IG(86)	29

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **CALICATA** : C-1
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : C1-2
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 1,30-1,50 m.
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	64,87	50,48	20,21	47,54	
	2	63,46	49,37	20,16	48,24	47,89

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

30	3	33,97	28,49	17,14	48,28	
22	4	37,47	31,85	20,52	49,60	
15	5	37,30	30,97	18,50	50,76	49,01

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

	6	12,33	11,30	8,64	38,72	
	7	12,68	11,82	9,57	38,22	
	8	11,66	10,78	8,54	39,29	38,74

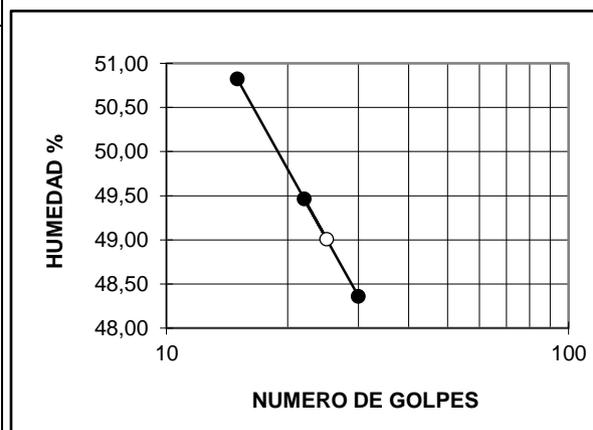
Peso de la muestra húmeda 125,63 g

Peso de la muestra seca 84,95 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10		0,00	100,00
No 40	2,30g	2,71	97,29
No 200	37,47g	44,11	55,89

GRAFICO LIMITE LIQUIDO



Grava	0%	LL	49,0%	SUCS	ML
Arena	44%	LP	38,7%	AASHTO	A-7-5
Finos	56%	IP	10,3%	IG(86)	5

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **CALICATA** : C-2
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : C2-1
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 0,80-1,00 m.
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	79,63	59,12	20,46	53,05	
	2	72,21	54,21	20,21	52,94	53,00

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

30	3	36,81	30,18	17,91	54,03	
23	4	39,12	31,51	17,95	56,12	
15	5	35,21	28,58	17,61	60,44	55,58

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

	6	13,31	11,86	8,45	42,52	
	7	11,89	10,97	8,78	42,01	
	8	12,31	11,24	8,69	41,96	42,16

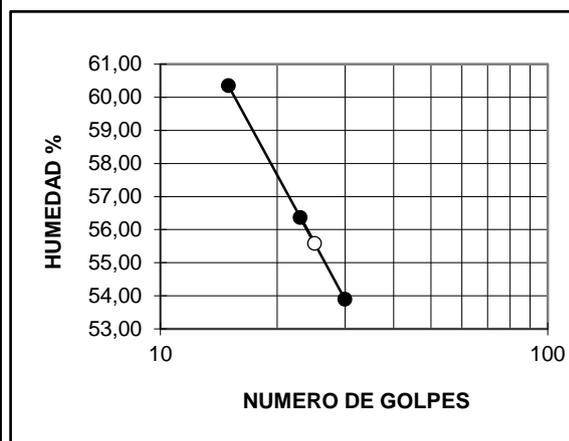
Peso de la muestra húmeda 131,94 g

Peso de la muestra seca 86,24 g

GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10		0,00	100,00
No 40	3,20g	3,71	96,29
No 200	37,98g	44,04	55,96

GRAFICO LIMITE LIQUIDO



Grava	0%	LL	55,6%	SUCS	MH
--------------	----	-----------	-------	-------------	----

Arena	44%	LP	42,2%	AASHTO	A-7-5
Finos	56%	IP	13,4%	IG(86)	7

ENSAYO DE CLASIFICACION (NORMA ASTM D 2487-06)						
PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"				CALICATA : C-2		
OBRA: PISCINA DE RELAVES				MUESTRA No : C2-2		
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN"				PROFUNDIDAD : 1,60-1,80m.		
				CALCULADO POR : ING. ALVAREZ		
	NORMA ASTM	P.CAP. S. HUM. (g)	P.CAP. S. SECO (g)	P.CAP (g)	HUMEDAD (%)	HUMEDAD PROMEDIO (%)
HUMEDAD NATURAL	D 2216-05	78,89 86,89	64,40 70,05	20,44 20,03	32,96 33,67	33,31
LIMITE LIQUIDO	D 4318-05	MATERIAL NO PLASTICO				
LIMITE PLASTICO	D4318-06	MATERIAL NO PLASTICO				
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA				147,95 g		
PESO DE LA MUESTRA SECA				110,98 g		
GRANULOMETRIA (NORMA ASTM D 422-63)				CURVA GRANULOMETRICA		
TAMIZ	P. RETENIDO	% RETENIDO	% Q' PASA			
3"		0,0	100,0			
2"		0,0	100,0			
1 1/2"		0,0	100,0			
1"		0,0	100,0			
3/4"		0,0	100,0			
1/2"		0,0	100,0			
3/8"		0,0	100,0			
No 4		0,0	100,0			
No 10		0,0	100,0			
No 40	6,95	6,3	93,7			
No 200	61,45	55,4	44,6			
GRAVA	0%			SUCS	SM	
ARENA	55%			AASHTO	A-4	

FINOS	45%	IG.	0
--------------	-----	------------	---

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **CALICATA** : C-3
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : C3-1
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 1,00-1,20 m.
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	72,81	53,83	20,71	57,31	
	2	73,89	54,33	20,25	57,39	57,35

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

31	3	37,55	29,96	18,21	64,60	
23	4	38,52	31,43	20,71	66,14	
13	5	39,96	31,95	20,42	69,47	65,75

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

	6	12,42	10,63	6,69	45,43	
	7	15,81	14,00	9,99	45,14	
	8	13,70	12,34	9,35	45,48	45,35

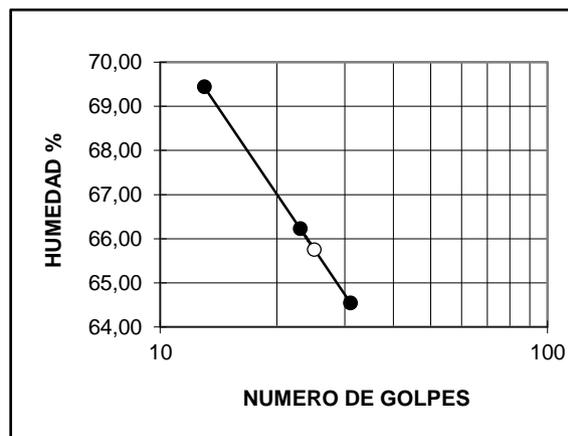
Peso de la muestra húmeda 162,44 g

Peso de la muestra seca 103,23 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10	1,02g	0,99	99,01
No 40	3,32g	3,22	96,78
No 200	40,14g	38,88	61,12

GRAFICO LIMITE LIQUIDO



Grava	0%	LL	204,2%	SUCS	MH
Arena	11%	LP	147,4%	AASHTO	A-7-5
Finos	89%	IP	56,8%	IG(86)	90

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **CALICATA** : C-5
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : C5-1
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 0,50-0,70 m.
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	70,33	51,97	20,66	58,64	
	2	76,79	56,12	20,38	57,83	58,24

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

35	3	35,18	27,94	17,65	70,36	
24	4	40,75	32,18	20,53	73,56	
14	5	31,46	24,02	14,28	76,39	72,82

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

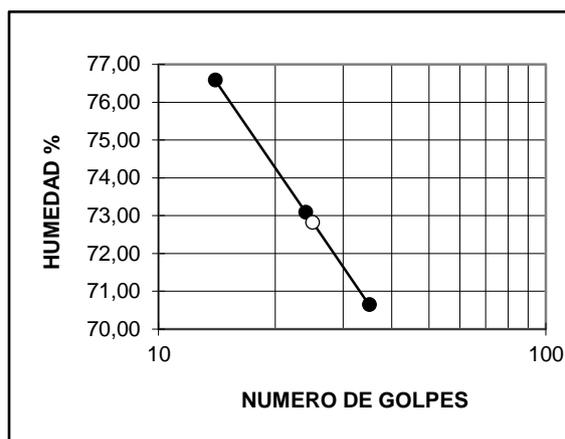
	6	13,38	12,21	10,16	57,07	
	7	11,18	9,59	6,78	56,58	
	8	13,59	12,30	10,04	57,08	56,91

Peso de la muestra húmeda 123,67 g
Peso de la muestra seca 78,15 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00
No 10		0,00	100,00
No 40	3,90g	4,99	95,01
No 200	37,57g	48,07	51,93

GRAFICO LIMITE LIQUIDO



Grava	0%	LL	72,8%	SUCS	MH
Arena	48%	LP	56,9%	AASHTO	A-7-5
Finos	52%	IP	15,9%	IG(86)	8

ENSAYO DE CLASIFICACION

(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **CALICATA** : C-6
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : C6-1
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 0,80-1,00 m.
: ING.
CALCULADO POR ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	69,71	45,34	19,00	92,52	
	2	57,71	39,73	20,43	93,16	92,84

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

31	3	33,51	25,94	17,87	93,80	
22	4	37,45	29,10	20,45	96,53	
15	5	36,77	27,18	17,71	101,27	95,74

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

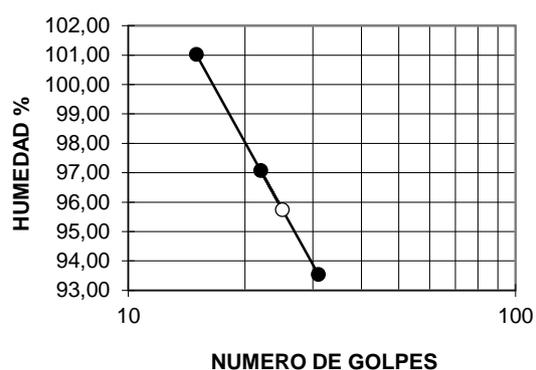
	6	12,38	10,79	8,68	75,36	
	7	13,36	11,40	8,81	75,68	
	8	11,49	10,11	8,29	75,82	75,62

Peso de la muestra húmeda 107,57 g

Peso de la muestra seca 55,78 g

GRANULOMETRIA NORMA ASTM D422-63

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00

GRAFICO LIMITE LIQUIDO

No 10		0,00	100,00
No 40	1,38g	2,47	97,53
No 200	20,39g	36,55	63,45

Grava	0%	LL	95,7%	SUCS	MH
Arena	37%	LP	75,6%	AASHTO	A-7-5
Finos	63%	IP	20,1%	IG(86)	19

ENSAYO DE CLASIFICACION
(NORMA ASTM D2487-06)



PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **CALICATA** : C-7
OBRA: PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : C7-1
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 0,70-1,20m
CALCULADO POR : ING. ALVAREZ

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05

No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	80,23	62,57	20,09	41,57	
	2	77,28	60,54	20,66	41,98	41,77

LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05

32	3	31,12	24,08	6,88	40,93	
23	4	30,54	23,50	6,78	42,11	
14	5	33,89	26,20	8,67	43,87	41,81

LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06

	6	13,04	12,19	8,67	24,15	
	7	13,31	12,44	9,01	25,36	
	8	12,43	11,70	8,81	25,26	24,92

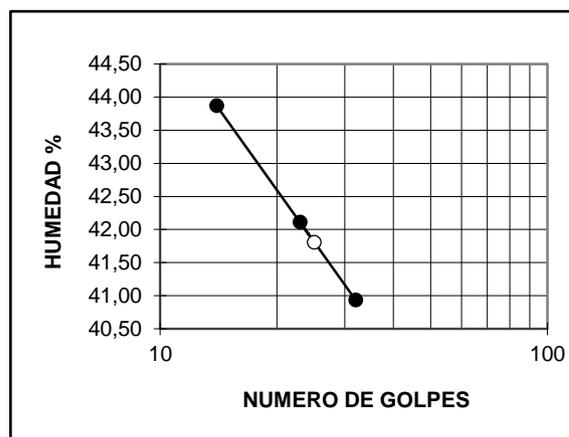
Peso de la muestra húmeda 155,17 g

Peso de la muestra seca 109,45 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00

GRAFICO LIMITE LIQUIDO



No 10		0,00	100,00			
No 40	4,17g	3,81	96,19			
No 200	47,99g	43,85	56,15			
Grava	0%			LL	41,8%	SUCS
Arena	44%			LP	24,9%	AASHTO
Finos	56%			IP	16,9%	IG(86)
						CL
						A-7-6
						7

ENSAYO DE CLASIFICACION (NORMA ASTM D2487-06)						
PROYECTO: AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"			CALICATA		: C-8	
OBRA: PISCINA DE RELAVES			MUESTRA No		: C7-2	
UBICACIÓN: SECTOR "EL CORAZÓN"			PROFUNDIDAD		: 1,30-1,70 m. : ING.	
			CALCULADO POR		ALVAREZ	
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL NORMA ASTM D 2216-05						
No. Golpes	Capsula No	P. Húmedo	P. Seco	P. Cápsula	Humedad	Media/valor
	1	74,69	41,12	20,87	165,78	
	2	65,43	34,85	16,44	166,11	165,94
LIMITE LIQUIDO NORMA ASTM D 4318-05						
31	3	49,21	24,79	10,36	169,23	
22	4	46,24	22,69	9,01	172,15	
13	5	42,83	20,23	7,33	175,19	170,91
LIMITE PLASTICO NORMA ASTM D 4318-06						
	6	17,20	13,32	10,04	118,29	
	7	13,70	10,06	6,99	118,57	
	8	15,53	12,53	9,99	118,11	118,32

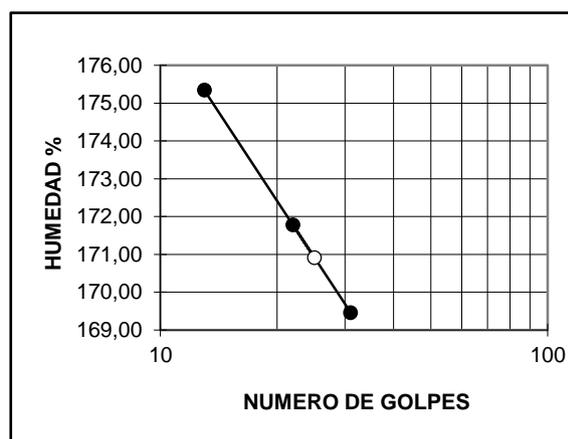
Peso de la muestra húmeda 128,16 g

Peso de la muestra seca 48,19 g

**GRANULOMETRIA NORMA
ASTM D422-63**

TAMIZ	P. Retenido	% retenido	% q' pasa
2"		0,00	100,00
1 1/2"		0,00	100,00
1"		0,00	100,00
3/4"		0,00	100,00
1/2"		0,00	100,00
3/8"		0,00	100,00
No 4		0,00	100,00

GRAFICO LIMITE LIQUIDO



No 10		0,00	100,00		
No 40	0,42g	0,87	99,13		
No 200	6,10g	12,66	87,34		
Grava	0%	LL	170,9%	SUCS	MH
Arena	13%	LP	118,3%	AASHTO	A-7-5
Finos	87%	IP	52,6%	IG(86)	76

F-2: Ensayos de Compresión Simple**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE**

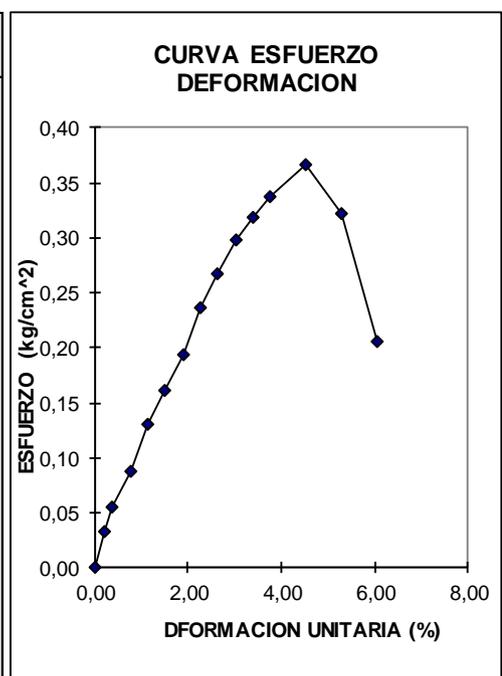
PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"
OBRA : PISCINA DE RELAVES
UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

SONDEO : P-2
MUESTRA No : M1
PROFUNDIDAD : 5,45-6,00m.

DS	3,57
DC	3,62
DI	3,59
DM	3,61
AM	10,22
HM	6,73

Peso inicial	118,45	Realizado por	:R.Murminacho
Vol. inicial	68,76	Calculado por	: B. Alvarez
gm. inicial	1,723	Cnte. anillo kg	0,1120
gd. inicial	1,214		

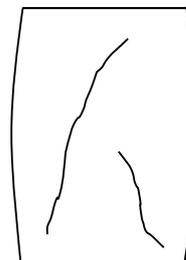
DEFORMACION (pulg.)	CARGA (pulg x 10 ⁻⁴)	DEFOR. UNITAR.(%)	ESFUERZO (kg/cm ²)
0	0	0,00	0,00
5	3	0,19	0,03
10	5	0,38	0,05
20	8	0,75	0,09
30	12	1,13	0,13
40	15	1,51	0,16
50	18	1,89	0,19
60	22	2,26	0,24
70	25	2,64	0,27
80	28	3,02	0,30
90	30	3,40	0,32
100	32	3,77	0,34
120	35	4,53	0,37
140	31	5,28	0,32
160	20	6,04	0,21

**RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE**

qu= 0,37 kg/cm²

GRAFICO DE LA MUESTRA ENSAYADA**CONTENIDO DE HUMEDAD**

CAPSULA No	414
P.CAP.+S. HUM.	73,60
P.CAP. +S.SECO	57,04
P. CAPSULA	17,49
HUMEDAD %	41,87



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"
OBRA : PISCINA DE RELAVES
UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

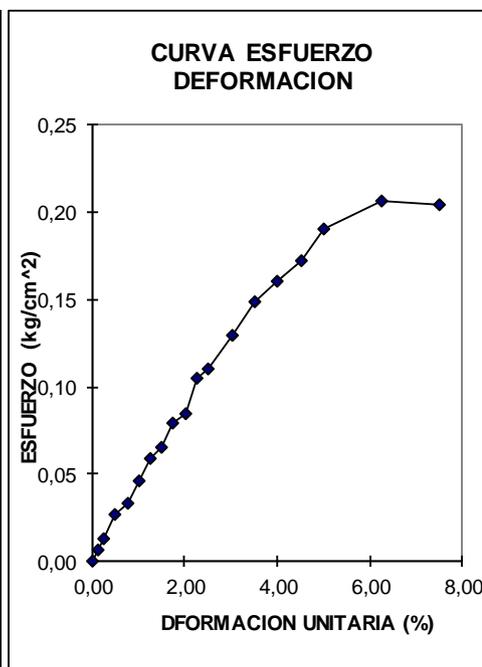
SONDEO : P-2
MUESTRA No : M2
PROFUNDIDAD : 6,75-6,95m.

DS	4,60
DC	4,62
DI	4,63
DM	4,62
AM	16,75
HM	10,12

Peso inicial	235,17
Vol. inicial	169,53
gm. inicial	1,387
gd. inicial	0,486

Realizado por : R. Murminacho
 Calculado por : B. Alvarez
 Cnte. anillo kg : 0,1120

DEFORMACION (pulg.)	CARGA (pulg x 10 ⁻⁴)	DEFOR. UNITAR. (%)	ESFUERZO (kg/cm ²)
0	0	0,00	0,00
5	1	0,13	0,01
10	2	0,25	0,01
20	4	0,50	0,03
30	5	0,75	0,03
40	7	1,00	0,05
50	9	1,25	0,06
60	10	1,51	0,07
70	12	1,76	0,08
80	13	2,01	0,09
90	16	2,26	0,10
100	17	2,51	0,11
120	20	3,01	0,13
140	23	3,51	0,15
160	25	4,02	0,16
180	27	4,52	0,17
200	30	5,02	0,19
250	33	6,27	0,21
300	33	7,53	0,20



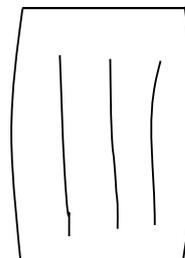
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

qu= 0,15 kg/cm²

GRAFICO DE LA MUESTRA ENSAYADA

CONTENIDO DE HUMEDAD

CAPSULA No	625
P.CAP.+S. HUM.	79,44
P.CAP. +S.SECO	40,53
P. CAPSULA	19,53
HUMEDAD %	185,29



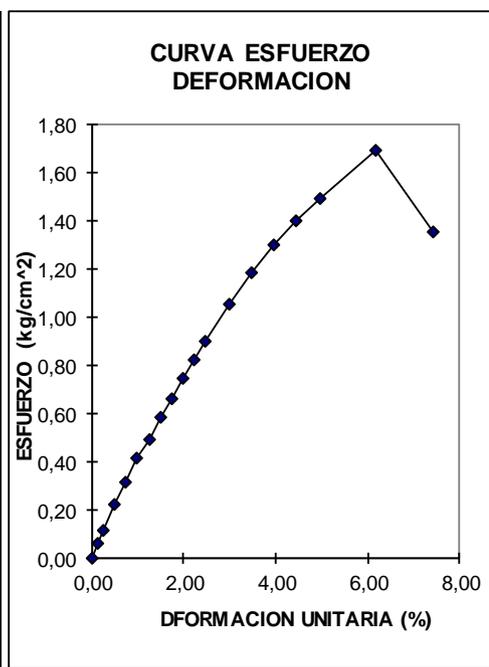
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" **SONDEO** : P-2
OBRA : PISCINA DE RELAVES **MUESTRA No** : M3
UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN" **PROFUNDIDAD** : 11,70-12,00 m.

DS	4,50
DC	4,51
DI	4,53
DM	4,51
AM	15,99
HM	10,25

Peso inicial	248,51	Realizado por	: R.Murminacho
Vol. inicial	163,87	Calculado por	: B. Alvarez
gm. inicial	1,517	Cnte. anillo kg	0,1120
gd. inicial	0,857		

DEFORMACION (pulg.)	CARGA (pulg x 10 ⁻⁴)	DEFOR. UNITAR. (%)	ESFUERZO (kg/cm ²)
0	0	0,00	0,00
5	9	0,12	0,06
10	17	0,25	0,12
20	32	0,50	0,22
30	46	0,74	0,32
40	60	0,99	0,42
50	72	1,24	0,50
60	85	1,49	0,59
70	96	1,73	0,66
80	109	1,98	0,75
90	121	2,23	0,83
100	132	2,48	0,90
120	155	2,97	1,05
140	175	3,47	1,18
160	193	3,96	1,30
180	209	4,46	1,40
200	225	4,96	1,50
250	258	6,20	1,70
300	209	7,43	1,36



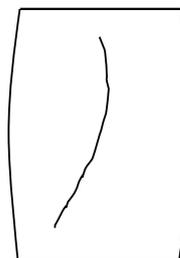
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

$q_u = 1,18 \text{ kg/cm}^2$

GRAFICO DE LA MUESTRA ENSAYADA

CONTENIDO DE HUMEDAD

CAPSULA No	644
P.CAP.+S. HUM.	83,71
P.CAP. +S.SECO	58,91
P. CAPSULA	26,66
HUMEDAD %	76,90



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

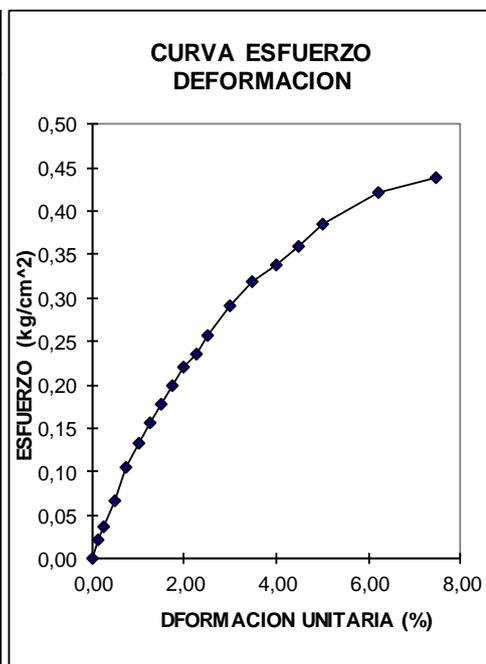
PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"
OBRA : PISCINA DE RELAVES
UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

SONDEO : P-3
MUESTRA No : M1
PROFUNDIDAD : 9,70-10,00m.

DS	4,35
DC	4,43
DI	4,08
DM	4,36
AM	14,92
HM	10,18

Peso inicial	212,02	Realizado por	:R.Murminacho
Vol. inicial	151,87	Calculado por	: B. Alvarez
gm. inicial	1,396	Cnte. anillo kg	0,1120
gd. inicial	0,557		

DEFORMACION (pulg.)	CARGA (pulg x 10 ⁻⁴)	DEFOR. UNITAR.(%)	ESFUERZO (kg/cm ²)
0	0	0,00	0,00
5	3	0,12	0,02
10	5	0,25	0,04
20	9	0,50	0,07
30	14	0,75	0,10
40	18	1,00	0,13
50	21	1,25	0,16
60	24	1,50	0,18
70	27	1,75	0,20
80	30	2,00	0,22
90	32	2,25	0,23
100	35	2,50	0,26
120	40	2,99	0,29
140	44	3,49	0,32
160	47	3,99	0,34
180	50	4,49	0,36
200	54	4,99	0,39
250	60	6,24	0,42
300	63	7,49	0,44



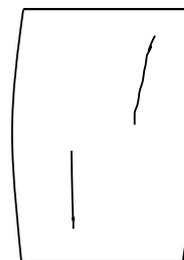
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

$q_u = 0,32 \text{ kg/cm}^2$

GRAFICO DE LA MUESTRA ENSAYADA

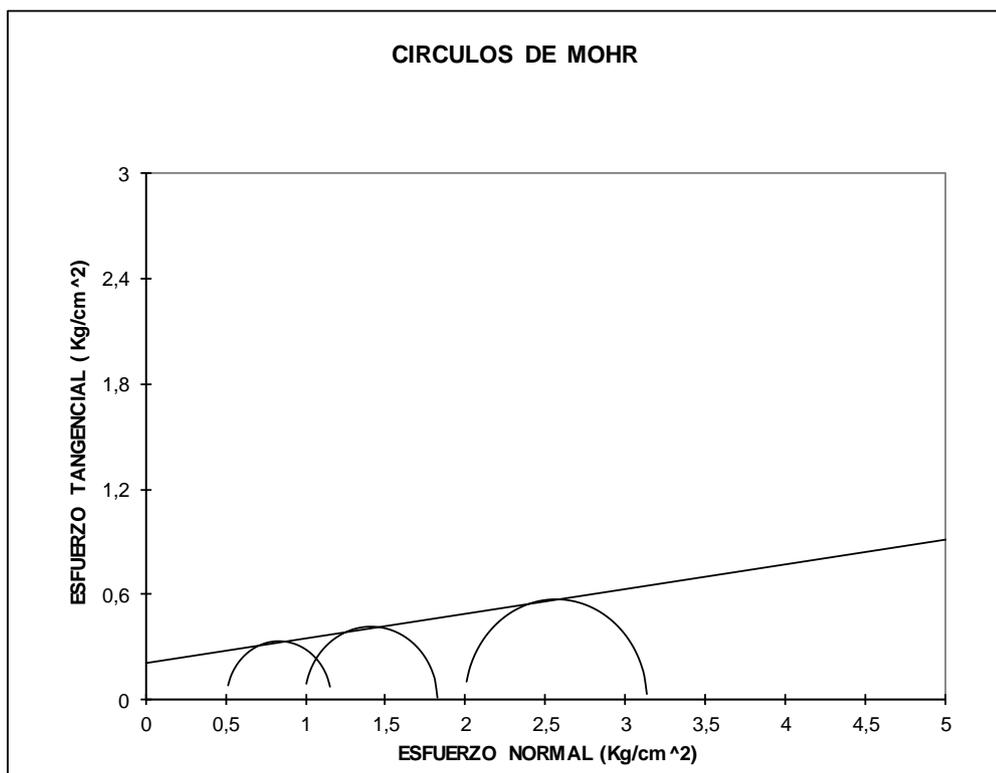
CONTENIDO DE HUMEDAD

CAPSULA No	674
P.CAP.+S. HUM.	87,08
P.CAP. +S.SECO	46,95
P. CAPSULA	20,33
HUMEDAD %	150,75



F-3: Ensayos Triaxiales no Saturados**ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO****PROYECTO** : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"**SONDEO** : P-1**OBRA** : PISCINA DE RELAVES**MUESTRA No** : M1**UBICACIÓN** : SECTOR "EL CORAZÓN"**PROFUNDIDAD** : 2,45-3,00m.

No	s dev. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	0,66	0,50	1,16	0,33	0,83
2	0,83	1,00	1,83	0,41	1,41
3	1,14	2,00	3,14	0,57	2,57

CIRCULOS DE MOHR

COHESION (kg/cm²)	0,21
FRICCIÓN (GRADOS)	8

DATOS DE ENSAYO	PROBETA No. 1	PROBETA No. 2	PROBETA No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,61	3,61	3,67
ALTURA MEDIA (cm)	6,72	6,72	6,72
HUMEDAD FINAL (%)	97,15	98,40	98,55
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,434	1,441	1,621
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,727	0,726	0,817

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

SONDEO : P-1

OBRA : PISCINA DE RELAVES

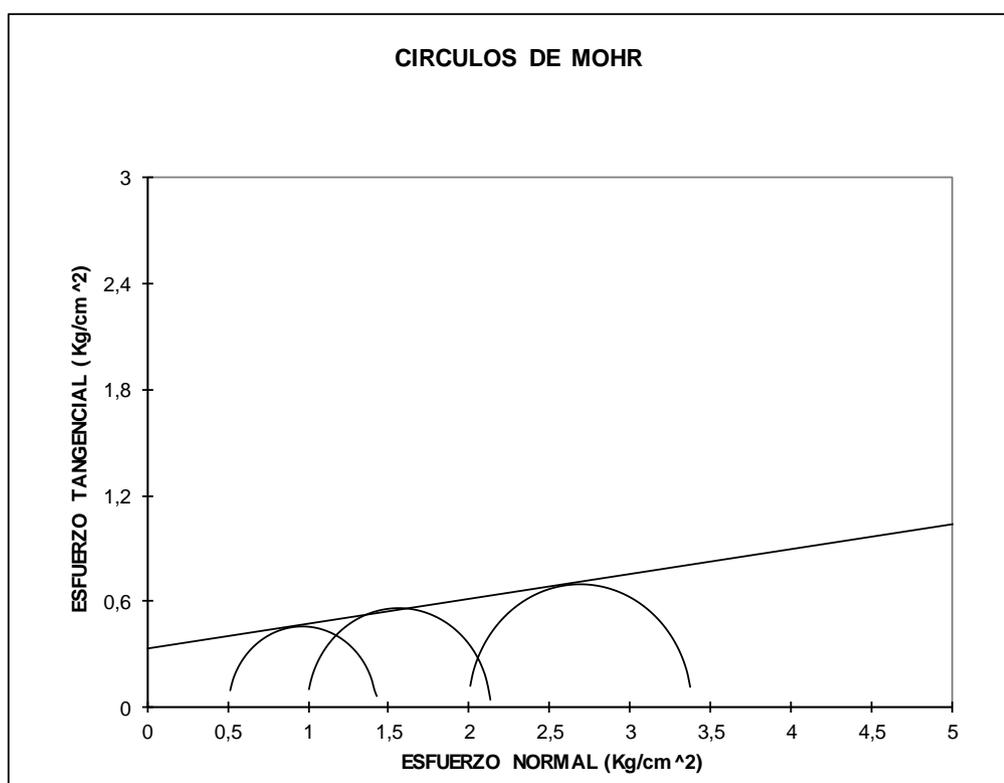
MUESTRA No : M2

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 6,45-7,00m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	0,92	0,50	1,42	0,46	0,96
2	1,13	1,00	2,13	0,56	1,56
3	1,38	2,00	3,38	0,69	2,69

CIRCULOS DE MOHR



COHESION (kg/cm²)	0,33
-------------------------------------	-------------

FRICCION (GRADOS)	8
--------------------------	----------

DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIC (cm)	3,65	3,63	3,59
ALTURA MEDIA (cm)	6,71	6,68	6,68
HUMEDAD FINAL (%)	126,77	127,43	127,05
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,197	1,250	1,384
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,528	0,550	0,609

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

SONDEO : P-2

OBRA : PISCINA DE RELAVES

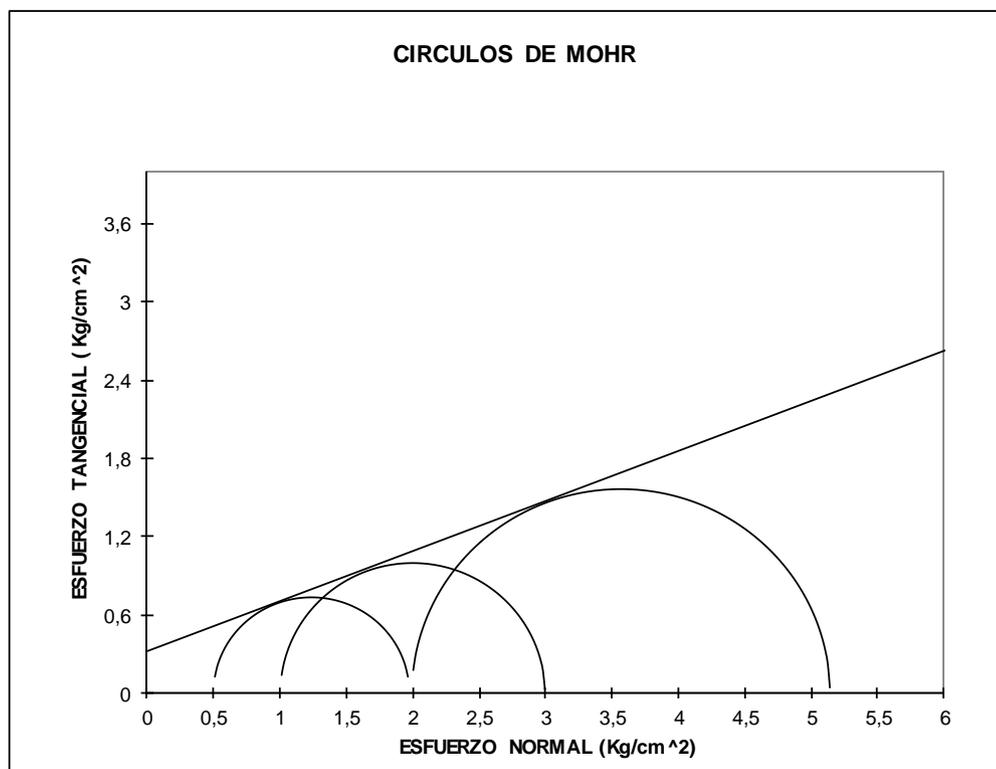
MUESTRA No :

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 2,45-3,00m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	1,47	0,50	1,97	0,74	1,24
2	2,00	1,00	3,00	1,00	2,00
3	3,15	2,00	5,15	1,57	3,57

CIRCULOS DE MOHR



COHESION (kg/cm ²)	0,32
FRICCION (GRADOS)	21

DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,54	3,51	3,54
ALTURA MEDIA (cm)	6,71	6,7	6,74
HUMEDAD FINAL (%)	30,60	30,34	31,97
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	1,831	1,844	1,823
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1,402	1,415	1,382

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

SONDEO : P-3

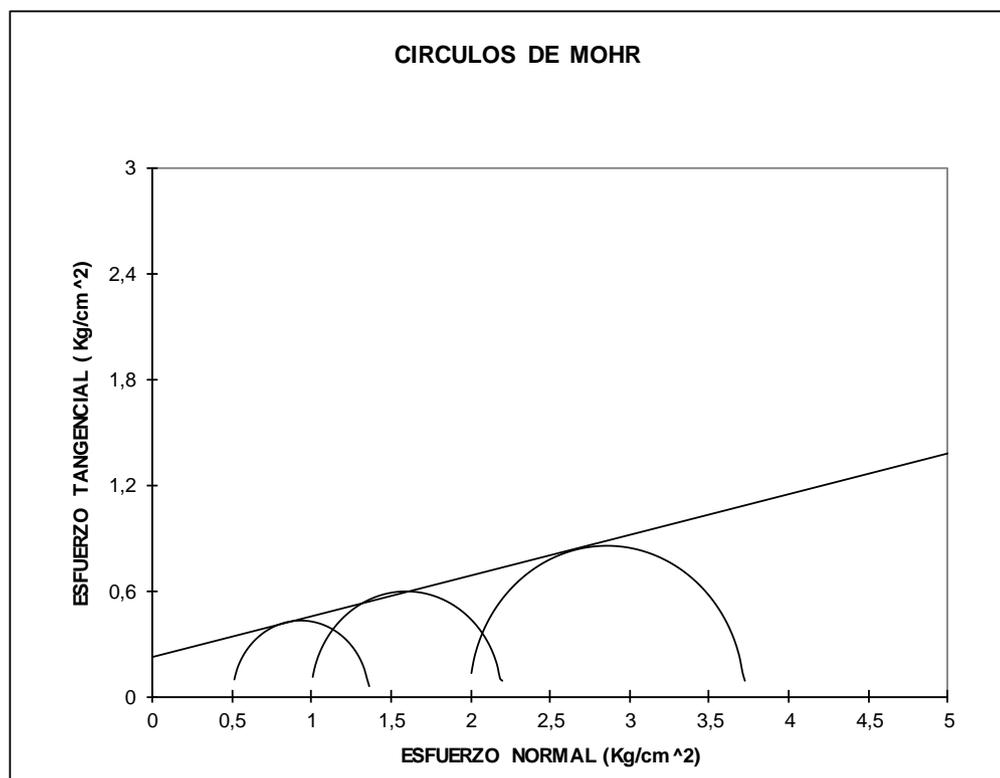
OBRA : PISCINA DE RELAVES

MUESTRA No : M1

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 4,45-5,00m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	0,86	0,50	1,36	0,43	0,93
2	1,20	1,00	2,20	0,60	1,60
3	1,72	2,00	3,72	0,86	2,86



COHESION (kg/cm²)	0,22
FRICCION (GRADOS)	13

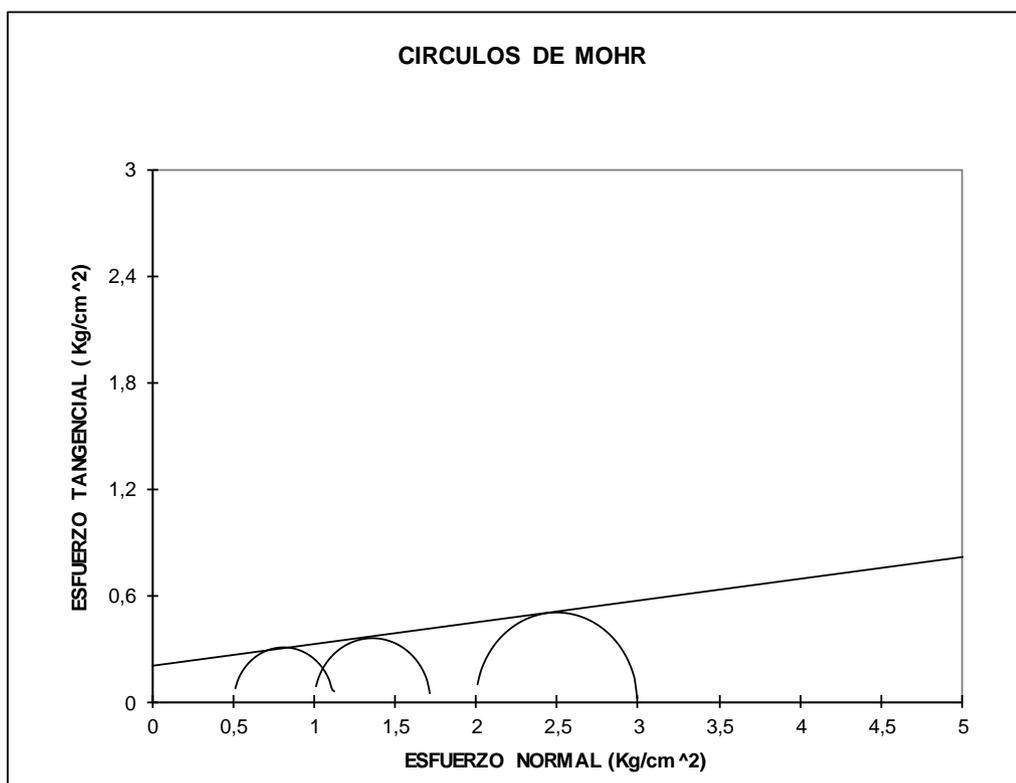
DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIC (cm)	3,63	3,58	3,64
ALTURA MEDIA (cm)	6,71	6,68	6,72
HUMEDAD FINAL (%)	128,91	144,63	148,99
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,269	1,338	1,981
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,554	0,547	0,796

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"
OBRA : PISCINA DE RELAVES
UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

SONDEO : P-3
MUESTRA No : P3-2
PROFUNDIDAD : 8,45-9,00m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	0,62	0,50	1,12	0,31	0,81
2	0,71	1,00	1,71	0,36	1,36
3	1,00	2,00	3,00	0,50	2,50



COHESION (kg/cm²)	0,2
FRICCION (GRADOS)	7

DATOS DE ENSAYO	PROBETA No. 1	PROBETA No. 2	PROBETA No. 3
DIAMETRO MEDIC (cm)	3,60	3,55	3,52
ALTURA MEDIA (cm)	6,7	6,7	6,65
HUMEDAD FINAL (%)	115,36	118,14	117,85
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,404	1,387	1,367
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,652	0,636	0,627

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

SONDEO : P-3

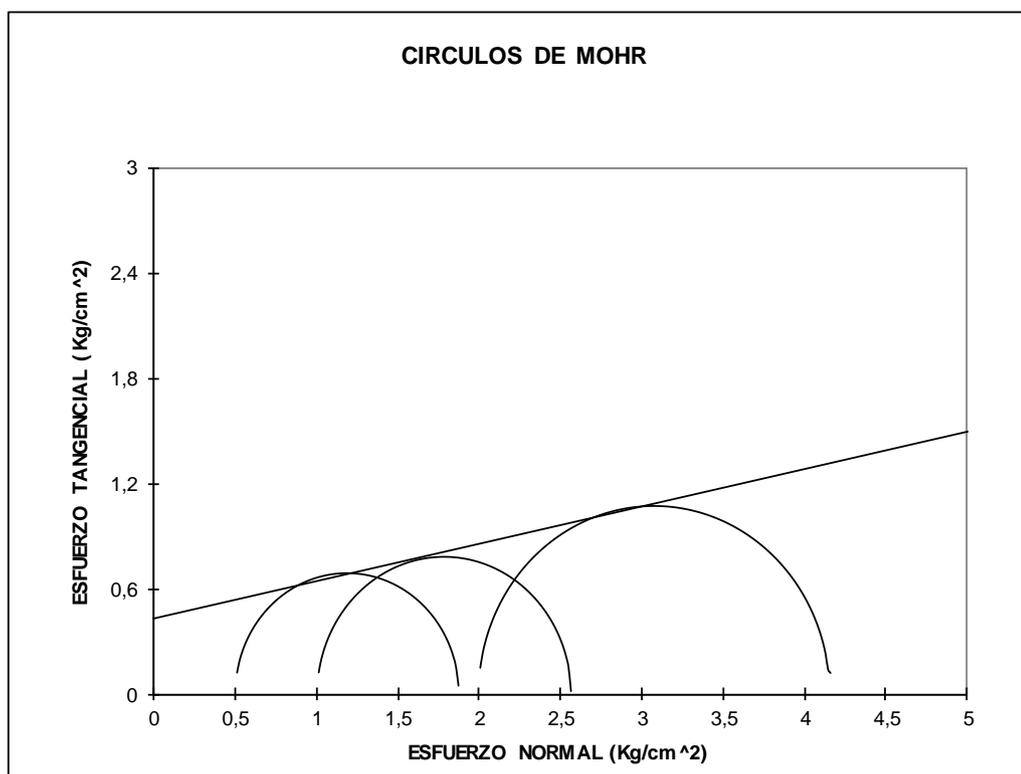
OBRA : PISCINA DE RELAVES

MUESTRA No : M3

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 14,45-15,00m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	1,38	0,50	1,88	0,69	1,19
2	1,57	1,00	2,57	0,78	1,78
3	2,15	2,00	4,15	1,07	3,07



COHESION (kg/cm²)	0,43
FRICCION (GRADOS)	12

DATOS DE ENSAYO	PROBETA No. 1	PROBETA No. 2	PROBETA No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,56	3,62	3,60
ALTURA MEDIA (cm)	6,72	6,67	6,72
HUMEDAD FINAL (%)	168,26	129,36	106,85
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	1,233	1,315	1,347
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,460	0,573	0,651

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-1

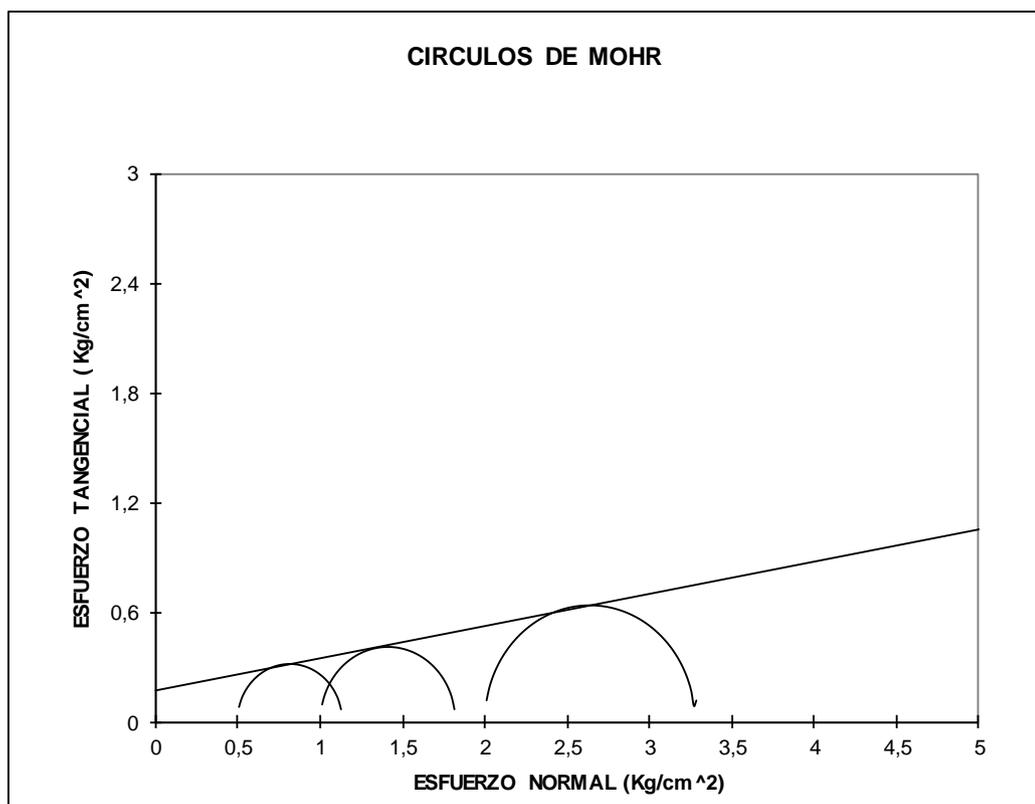
OBRA : PISCINA DE RELAVES

MUESTRA No : CL1-M1

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 0,50-0,70m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	0,63	0,50	1,13	0,32	0,82
2	0,82	1,00	1,82	0,41	1,41
3	1,28	2,00	3,28	0,64	2,64



COHESION (kg/cm²)	0,17
FRICCION (GRADOS)	10

DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,49	3,63	3,64
ALTURA MEDIA (cm)	6,71	6,71	6,71
HUMEDAD FINAL (%)	61,90	61,40	62,69
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,511	1,402	1,413
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,933	0,868	0,869

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-1

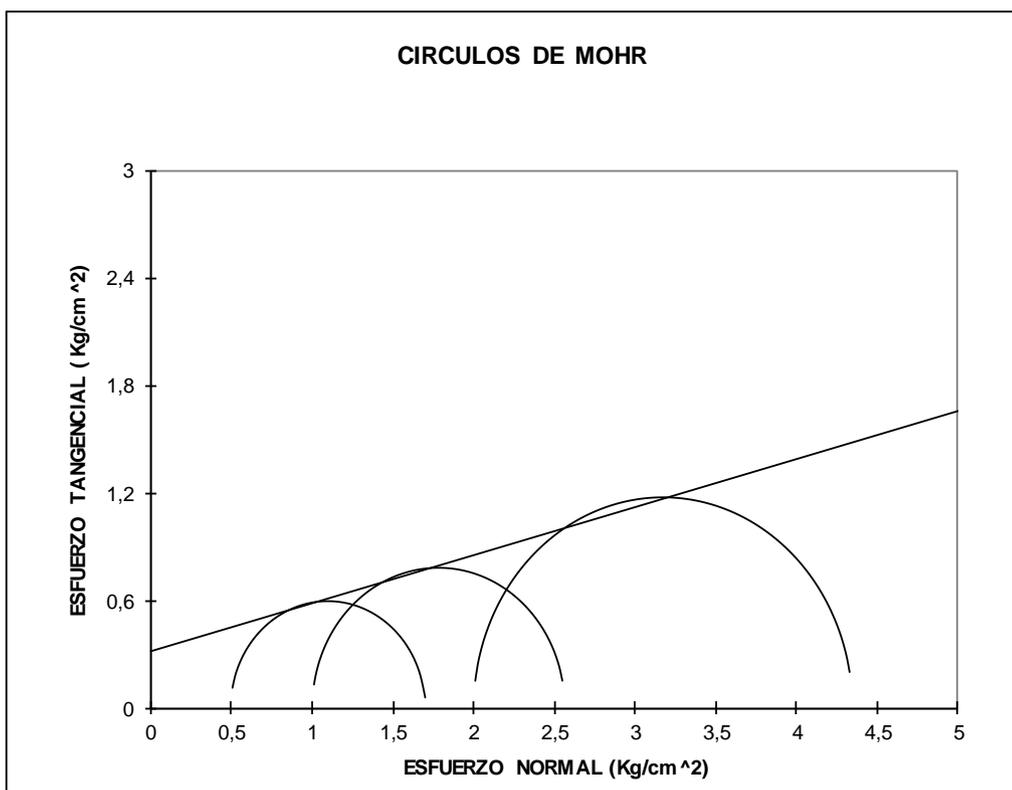
OBRA : PISCINA DE RELAVES

MUESTRA No : CL1-M2

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 1,30-1,50m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	1,19	0,50	1,69	0,60	1,10
2	1,56	1,00	2,56	0,78	1,78
3	2,35	2,00	4,35	1,18	3,18



COHESION (kg/cm²)	0,32
FRICCION (GRADOS)	15

DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,57	3,50	3,61
ALTURA MEDIA (cm)	6,74	6,7	6,72
HUMEDAD FINAL (%)	51,14	51,53	51,16
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,515	1,589	1,587
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1,003	1,049	1,050

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-2

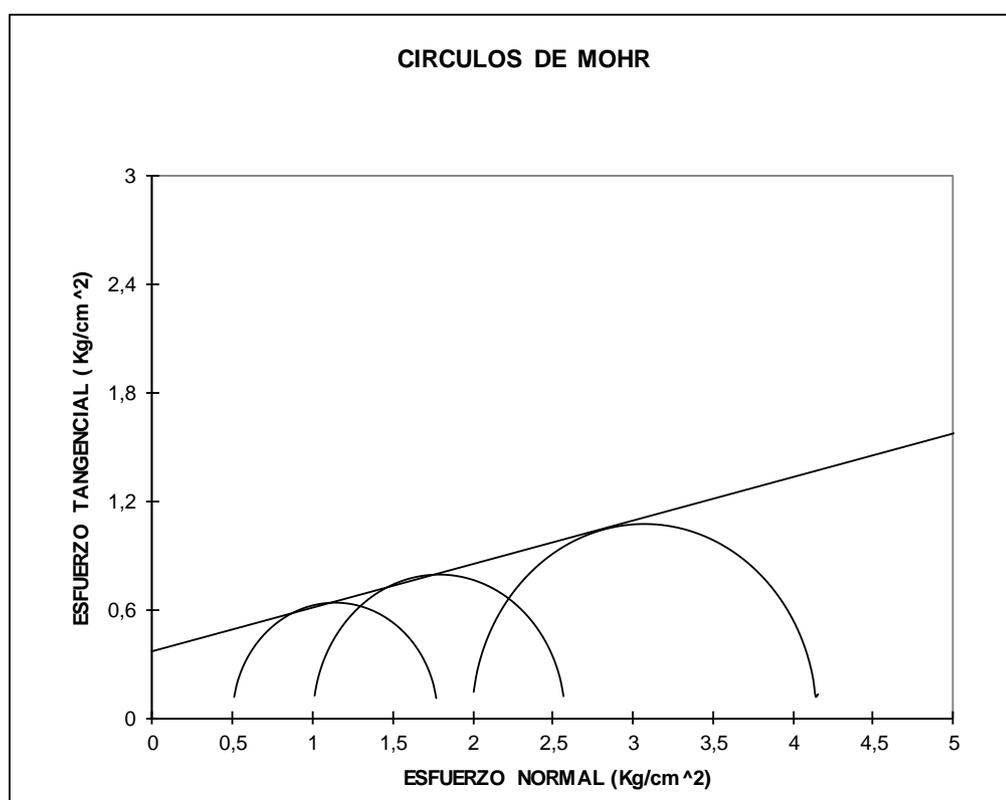
OBRA : PISCINA DE RELAVES

MUESTRA No : CL2-M1

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 0,80-1,00m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	1,28	0,50	1,78	0,64	1,14
2	1,57	1,00	2,57	0,79	1,79
3	2,15	2,00	4,15	1,07	3,07



COHESION (kg/cm²)	0,37
FRICCION (GRADOS)	13,5

DATOS DE ENSAYO	PROBETA No. 1	PROBETA No. 2	PROBETA No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,60	3,61	3,57
ALTURA MEDIA (cm)	6,7	6,72	6,73
HUMEDAD FINAL (%)	53,94	54,38	54,56
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,485	1,468	1,549
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,965	0,951	1,002

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-2

OBRA : PISCINA DE RELAVES

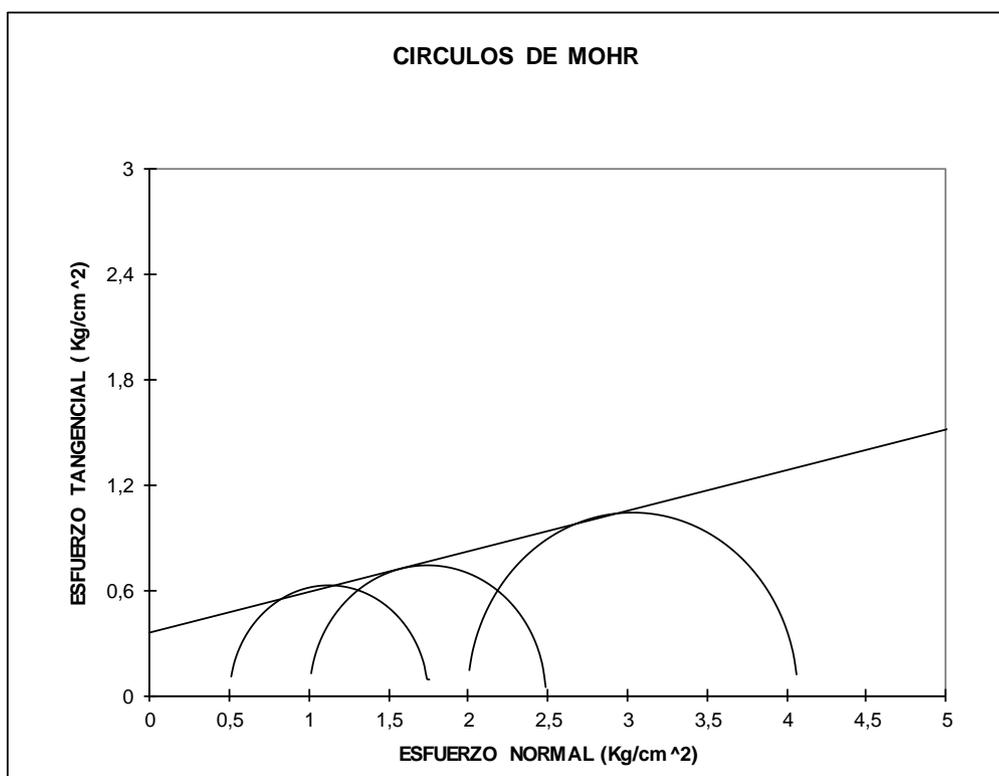
MUESTRA No : CL2-M2

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 1,60-1,80m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	1,25	0,50	1,75	0,62	1,12
2	1,49	1,00	2,49	0,74	1,74
3	2,07	2,00	4,07	1,04	3,04

CIRCULOS DE MOHR



COHESION (kg/cm²)	0,36
FRICCION (GRADOS)	13

DATOS DE ENSAYO	PROBETA No. 1	PROBETA No. 2	PROBETA No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,53	3,60	3,53
ALTURA MEDIA (cm)	6,73	6,72	6,71
HUMEDAD FINAL (%)	36,40	32,93	36,15
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,537	1,479	1,569
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1,127	1,113	1,152

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-3

OBRA : PISCINA DE RELAVES

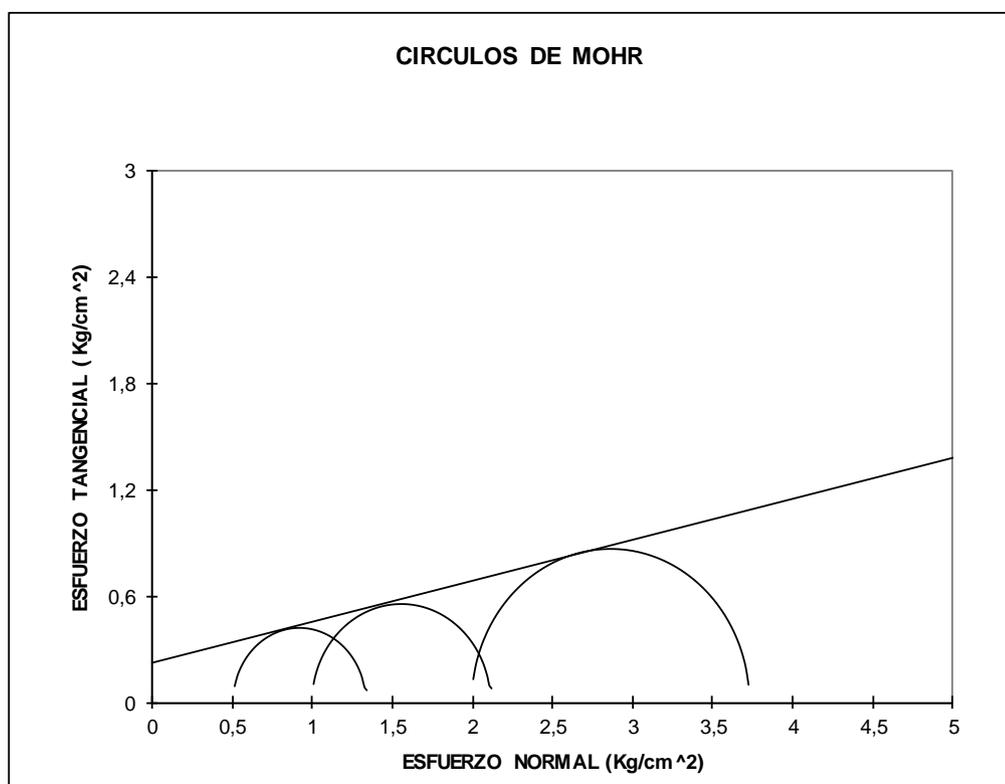
MUESTRA No : CL3-M1

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 1,00-1,20m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	0,83	0,50	1,33	0,41	0,91
2	1,11	1,00	2,11	0,55	1,55
3	1,73	2,00	3,73	0,86	2,86

CIRCULOS DE MOHR



COHESION (kg/cm²)	0,22
-------------------------------------	-------------

FRICCIÓN (GRADOS)	13
--------------------------	-----------

DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIC (cm)	3,57	3,59	3,45
ALTURA MEDIA (cm)	6,73	6,77	6,68
HUMEDAD FINAL (%)	58,78	58,71	58,64
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,400	1,434	1,573
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,882	0,903	0,992

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-4

OBRA : PISCINA DE RELAVES

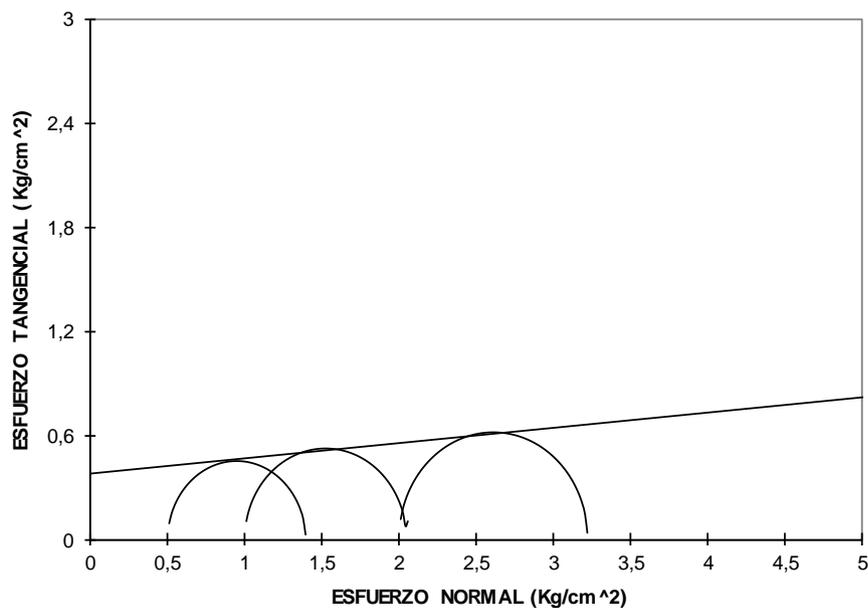
MUESTRA No : CL4-M1

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 1,80-2,00 m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	0,90	0,50	1,40	0,45	0,95
2	1,05	1,00	2,05	0,52	1,52
3	1,23	2,00	3,23	0,61	2,61

CIRCULOS DE MOHR



COHESION (kg/cm²)	0,38
FRICCION (GRADOS)	5

DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIC (cm)	3,46	3,49	3,58
ALTURA MEDIA (cm)	6,78	6,7	6,72
HUMEDAD FINAL (%)	189,40	187,12	189,46
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,057	1,055	1,005
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,365	0,368	0,347

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-5

OBRA : PISCINA DE RELAVES

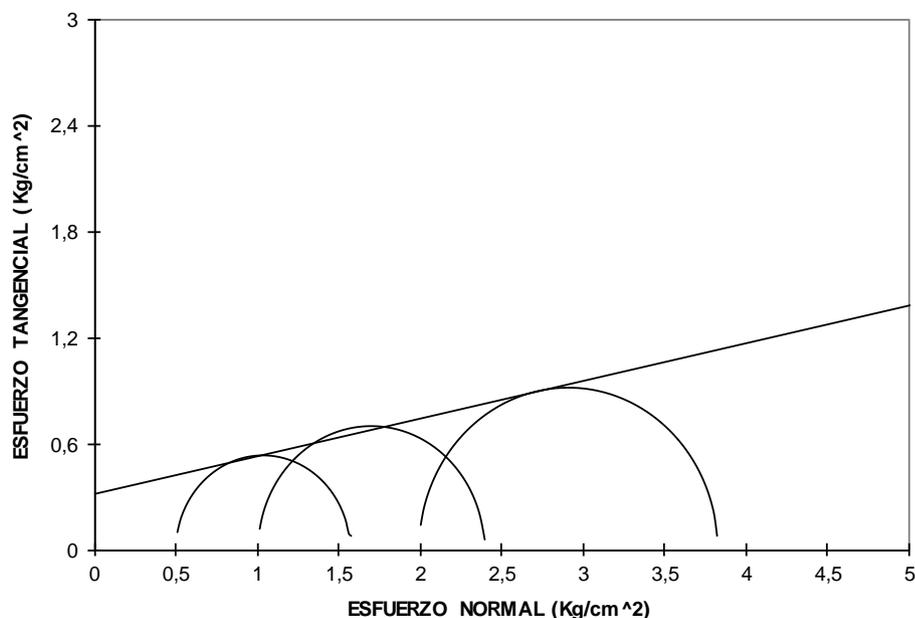
MUESTRA No : CL5-M1

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 0,50-0,70 m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	1,07	0,50	1,57	0,53	1,03
2	1,40	1,00	2,40	0,70	1,70
3	1,83	2,00	3,83	0,91	2,91

CIRCULOS DE MOHR



COHESION (kg/cm²)	0,32
-------------------------------------	-------------

FRICCIÓN (GRADOS)	12
--------------------------	-----------

DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,59	3,61	3,57
ALTURA MEDIA (cm)	6,7	6,71	6,73
HUMEDAD FINAL (%)	59,61	59,50	58,13
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,369	1,362	1,460
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,858	0,854	0,923

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGRINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-6

OBRA : PISCINA DE RELAVES

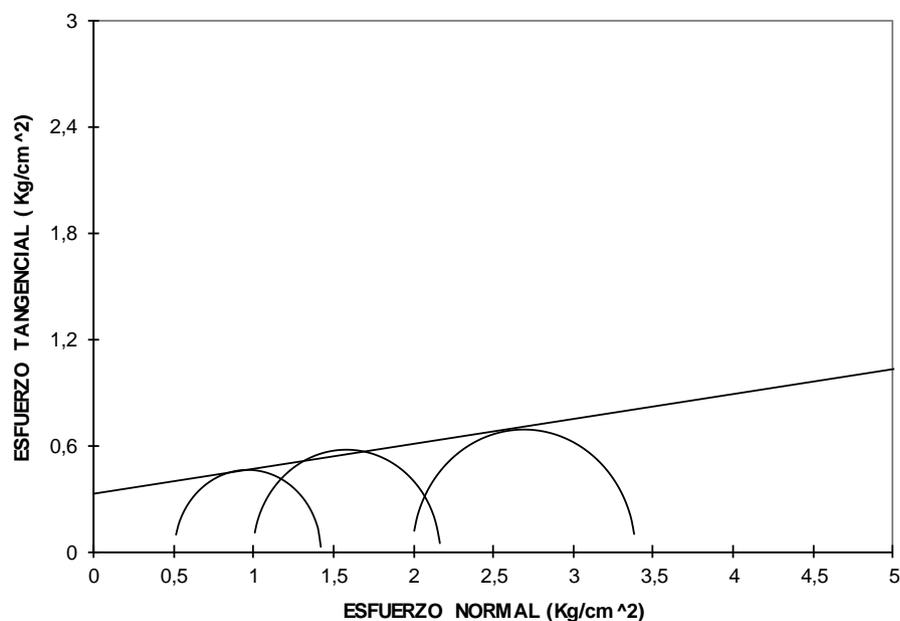
MUESTRA No : CL6-M1

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 0,80-1,00 m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	0,93	0,50	1,43	0,46	0,96
2	1,16	1,00	2,16	0,58	1,58
3	1,38	2,00	3,38	0,69	2,69

CIRCULOS DE MOHR



COHESION (kg/cm²)	0,33
-------------------------------------	-------------

FRICCION (GRADOS)	8
--------------------------	----------

DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,56	3,58	3,61
ALTURA MEDIA (cm)	6,76	6,72	6,72
HUMEDAD FINAL (%)	91,16	91,43	91,42
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,290	1,274	1,274
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0,675	0,665	0,666

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-7

OBRA : PISCINA DE RELAVES

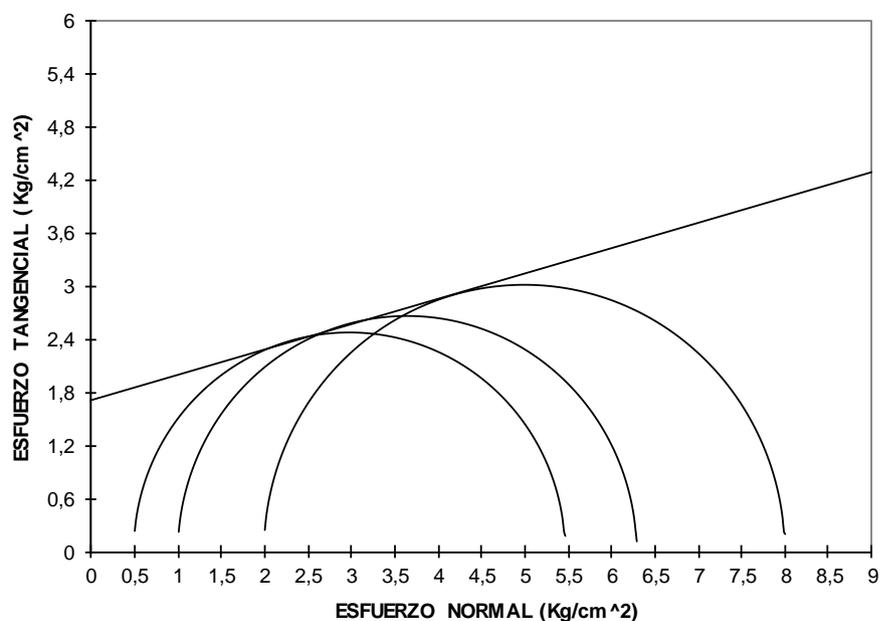
MUESTRA No : CL7-M1

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 0,50 m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	4,95	0,50	5,45	2,48	2,98
2	5,30	1,00	6,30	2,65	3,65
3	6,00	2,00	8,00	3,00	5,00

CIRCULOS DE MOHR



COHESION (kg/cm²)	1,7
-------------------------------------	------------

FRICCION (GRADOS)	16
--------------------------	-----------

DATOS DE ENSAYO	PROBETA		
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIC (cm)	3,61	3,61	3,61
ALTURA MEDIA (cm)	7	7	7
HUMEDAD FINAL (%)	19,11	19,09	19,64
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,818	1,808	1,833
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1,526	1,518	1,532

ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN"

CALICATA : CL-7

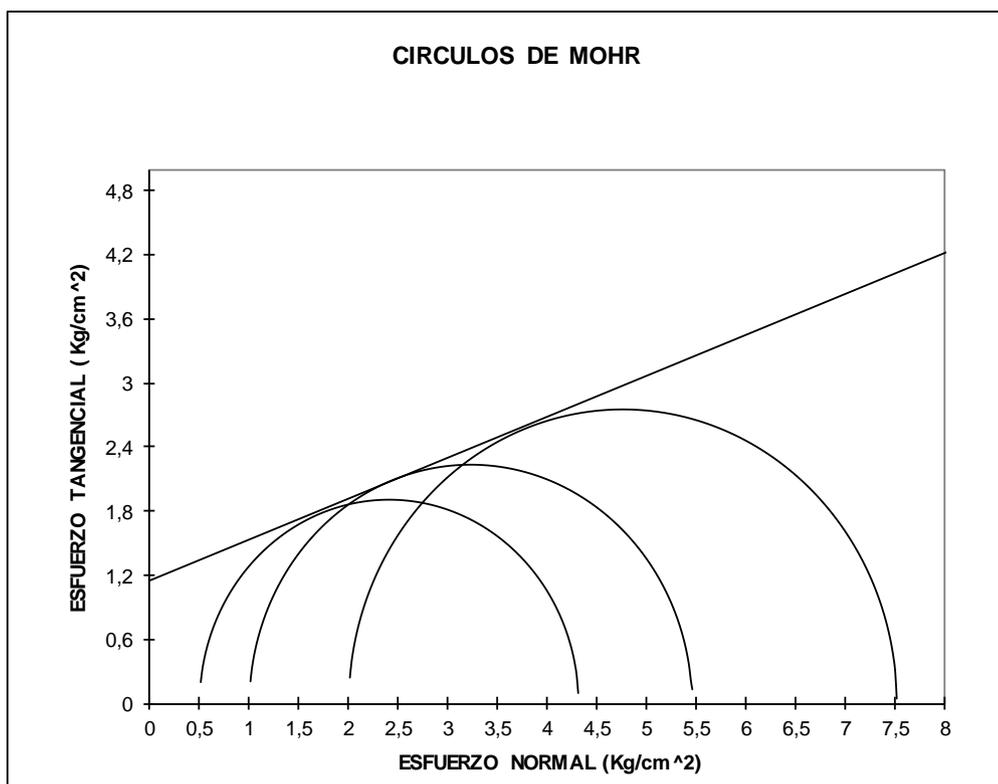
OBRA : PISCINA DE RELAVES

MUESTRA No : CL7-M2

UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN"

PROFUNDIDAD : 1,20 m.

No	s desv. Kg/cm ²	s 3 Kg/cm ²	s 1 Kg/cm ²	(s1-s3)/2 Kg/cm ²	(s1+s3)/2 Kg/cm ²
1	3,82	0,50	4,32	1,91	2,41
2	4,46	1,00	5,46	2,23	3,23
3	5,52	2,00	7,52	2,76	4,76



COHESION (kg/cm²)	1,14
FRICCION (GRADOS)	21

DATOS DE ENSAYO	PROBETA	PROBETA	PROBETA
	No. 1	No. 2	No. 3
DIAMETRO MEDIO (cm)	3,61	3,61	3,61
ALTURA MEDIA (cm)	7	7	7
HUMEDAD FINAL (%)	18,11	19,09	19,10
DENSIDAD HUMED. (gr/cm ³)	1,699	1,706	1,722
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1,439	1,432	1,446

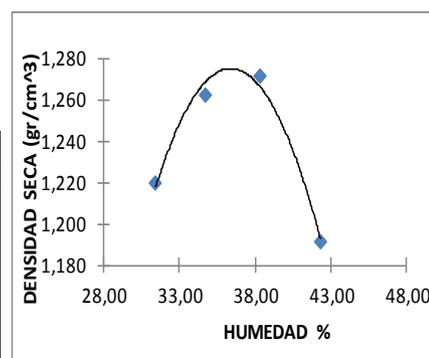
F-4: Ensayos de Compactación

ENSAYO DE COMPACTACION

PROYECTO : AGROINDUSTRIAL "EL CORAZÓN" COMPACTACION : ESTANDAR
 OBRA : PISCINA DE RELAVES GOLPES POR CAPA : 25
 UBICACIÓN : SECTOR "EL CORAZÓN" NUMERO DE CAPAS : 3
 MUESTRA M1 P. DEL MARTILLO : 5.5 lbs.
 PROFUNDIDAD : 0,50-0,70m ALTURA DE CAIDA : 12"

DATOS DEL MOLDE		
DIAM.	4	"
VOL.	941	cm ³
PESO	4005	gr.

MUESTRA No.	DENSIDAD			
	1	2	3	4
PESO MOLDE + SUELO (gr.)	5514	5605	5660	5600
PESO MOLDE (gr.)	4005	4005	4005	4005
PESO SUELO (gr.)	1509	1600	1655	1595
CONTENIDO DE AGUA	31,46	34,70	38,35	42,31
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	1,604	1,700	1,759	1,695
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1,220	1,262	1,271	1,191



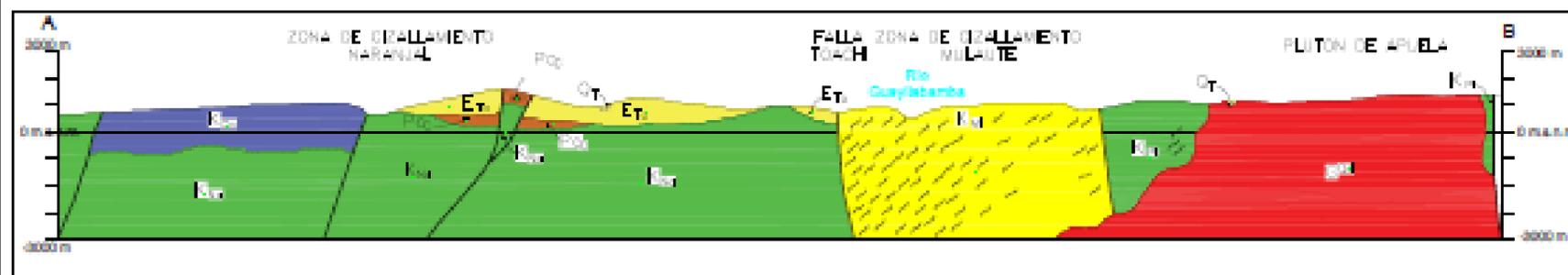
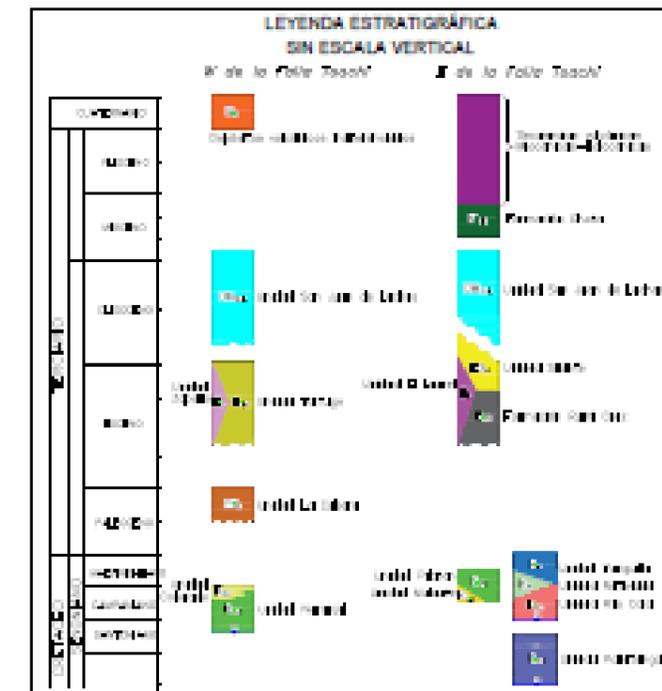
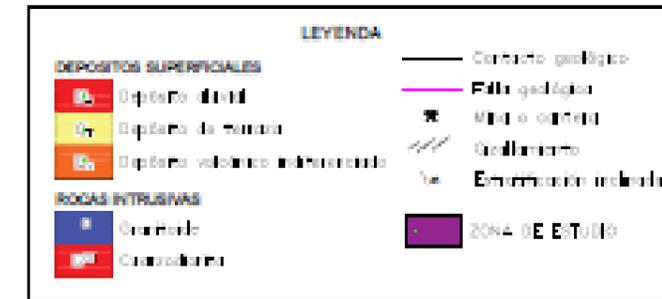
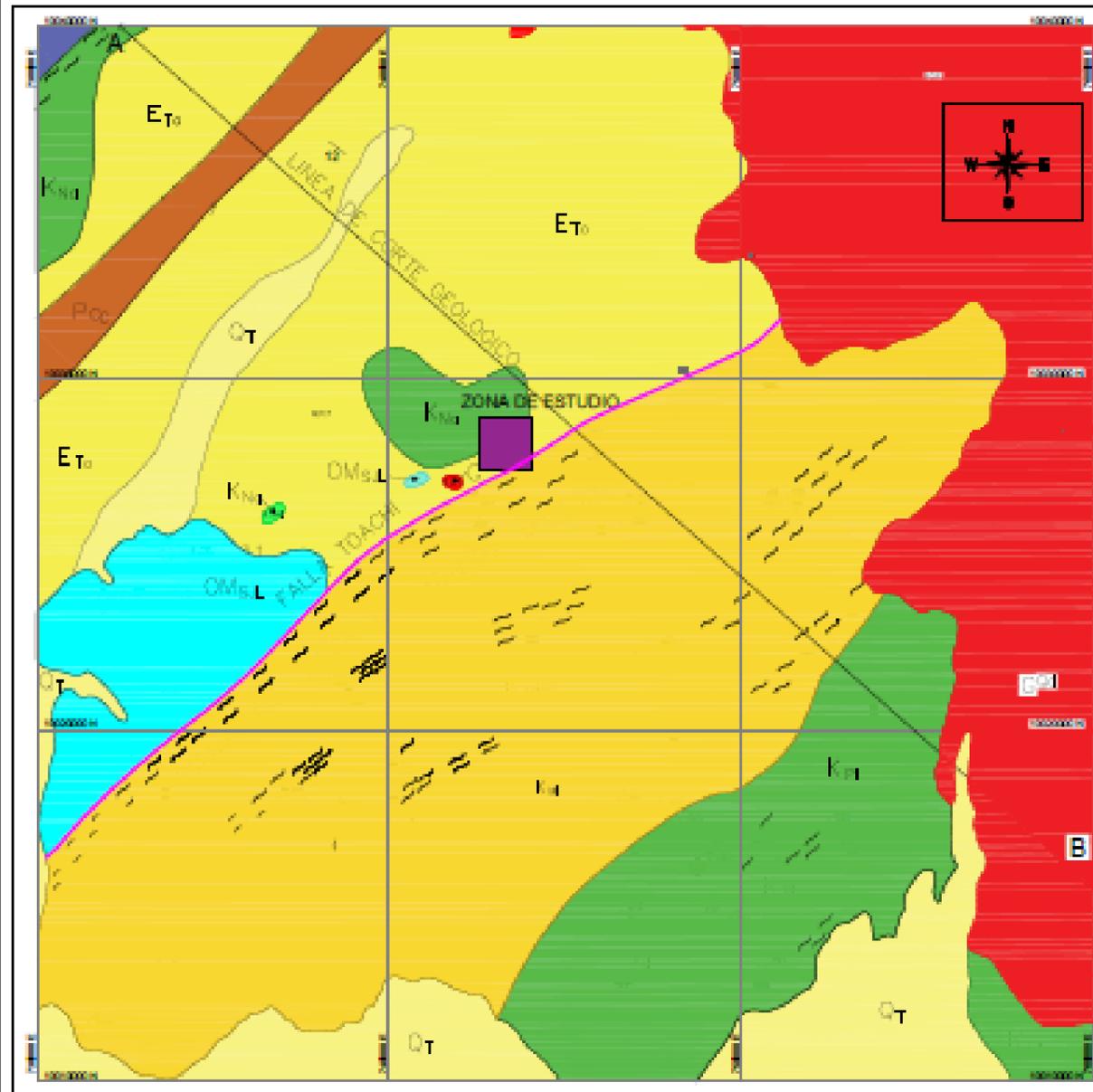
d máx. (gr/cm³): 1,275 **ópt.** (%): 37,30

MUESTRA No	CONTENIDO DE AGUA							
	1		2		3		4	
RECIPIENTE+SUELO HUMEDO (gr.)	65,50	70,08	66,52	65,43	70,55	73,07	65,79	73,82
RECIPIENTE +SUELO SECO (gr.)	54,04	57,54	54,00	53,21	55,91	57,92	51,54	57,22
PESO DEL RECIPIENTE	17,66	17,62	17,60	18,30	17,60	18,55	17,93	17,91
CONTENIDO DE AGUA (%)	31,50	31,41	34,40	35,00	38,21	38,48	42,40	42,23
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA	31,46		34,70		38,35		42,31	

ANEXO G: MAPAS

G-1: MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

MAPA GEOLÓGICO REGIONAL



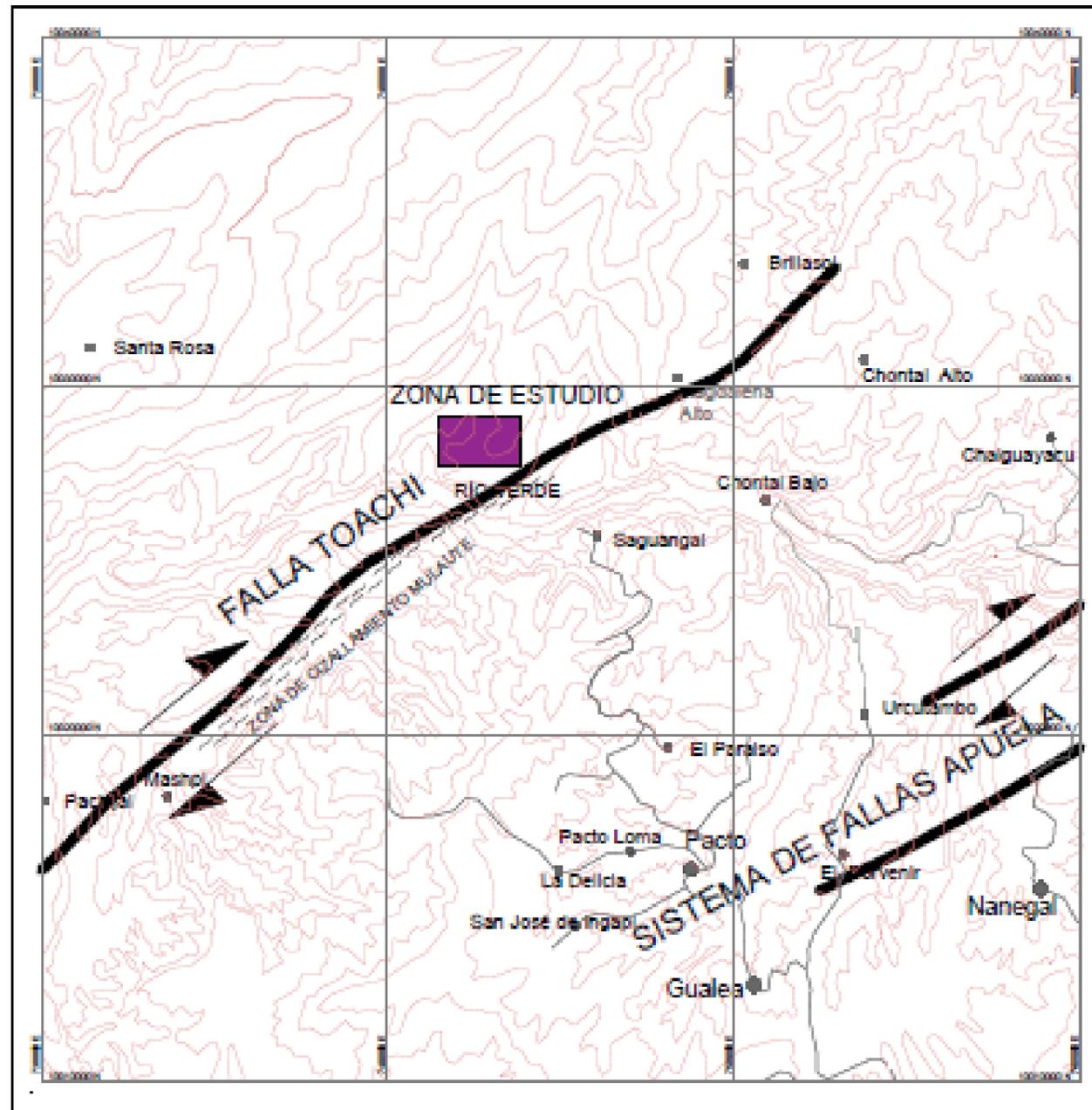
DISEÑO DE RELAVERA

CONTIENE:
MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

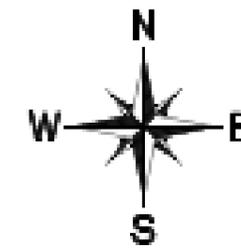
MODIFICADO POR: JOSÉ LUIS PELÁNTEZ	REVISADO POR: ING. FERNANDO PERERO
ESCALA: 1:150000	FECHA: JULIO - 2014

ESCALA GRAFICA

G-2: MAPA ESTRUCTURAL



MAPA DE FALLAS



LEYENDA

-  Falla o Sistema de Falla
-  Zona de Cizalla
-  Vía
-  Parroquia
-  Recinto
-  ZONA DE ESTUDIO

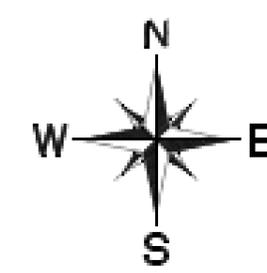
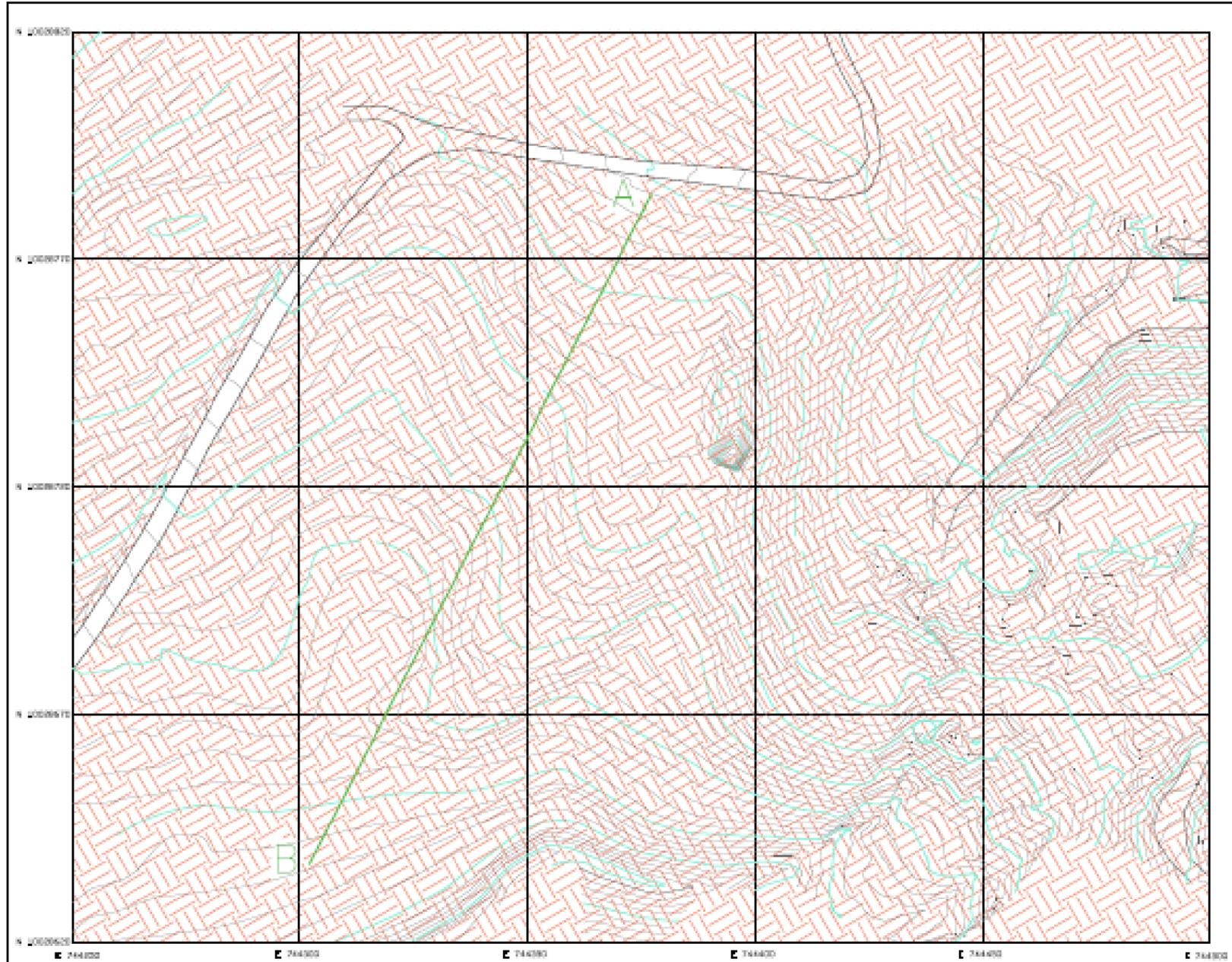
DISEÑO DE RELAVERA

CONTIENE: MAPA DE FALLAS	
VERIFICADO POR: JOSÉ LUIS PÉREZ	REVISADO POR: DR. FERNANDO PÉREZ
ESCALA: 1:100000	FECHA: JULIO - 2014
	

G-3: MAPA HIDROGRÁFICO

G-4: MAPA GEOLÓGICO LOCAL

MAPA GEOLÓGICO LOCAL



LEYENDA

-  Curva de nivel
-  Vía de acceso
-  Corte geológico A-B
-  Sedimentos lacustres (material volcánico)

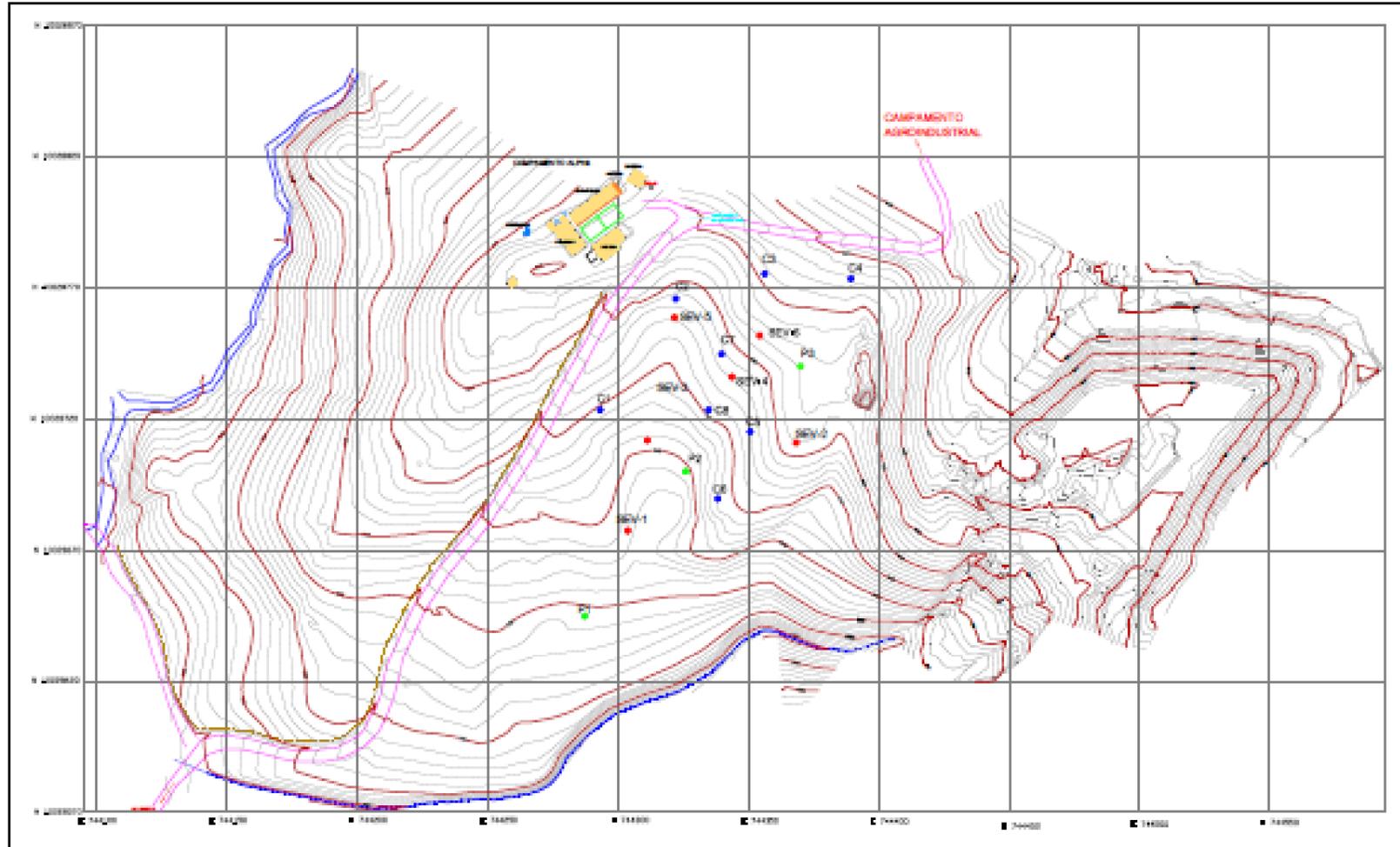
DISEÑO DE RELAVERA

CONTIENE: MAPA GEOLÓGICO LOCAL	
REALIZADO POR: JOSÉ LUIS PISÁNTIZ	REVISADO POR: ING. FERNANDO FIERRO
ESCALA: 1:1000	FECHA: JULIO - 2014



G-5: MAPA DE UBICACIÓN DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

MAPA DE UBICACIÓN DE INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS



N
W E
S

LEYENDA

- Construcción
- Curva de nivel principal
- Curva de nivel secundaria
- Vía
- Quebradas
- Sonda
- Sonda Eléctrica
- Calicata

DISEÑO DE RELAVERA	
CONTIENE: UBICACIÓN DE INVESTIGACIONES	
REALIZADO POR:	REALIZADO POR:
<u>JOSÉ LUIS FELANTEZ</u>	<u>ING. FERNANDO FERRAZO</u>
ESCALA:	FECHA:
1:2000	JULIO - 2014
ESCALA GRÁFICA	

G-6: CORTE GEOLÓGICO

G-7: SECCIÓN DE LA RELAVERA



LEYENDA	
	Nivel natural del terreno
	Límite de excavación
	Límite del espaldón
	Límite del núcleo
	Límite del enrocado
	Cota de coronación
	Enrocado
	Drenaje

DISEÑO DE RELAVERA	
CONTIENE: SECCIÓN RELAVERA	
MODIFICADO POR: <i>JOSÉ LUIS PESÁNTEZ</i>	REVISADO POR: <i>ING. FERNANDO FERRERO</i>
ESCALA: 1:500	FECHA: JULIO - 2014
ESCALA GRÁFICA 	

