

**Fondo  
Adaptación**

Trabajamos en la Reconstrucción  
Gestionando el Riesgo de Desastres



**SI SUELOS INGENIERÍA S.A.S.**  
Estudios, diseños y construcciones en geotecnia

EVALUACION GEOTECNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA  
28 OBRAS DE PROTECCION HIDRAULICA LOCALIZADAS  
EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NUCLEO  
DE LA REGION DE LA MOJANA



DIQUE 3. PINILLOS

INFORME DE CARACTERIZACION GEOMETRICA Y  
GEOTECNICA DE LA ESTRUCTURA

SEPTIEMBRE - 2015

## IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS

Nombre del proyecto:	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NÚCLEO DE LA REGIÓN DE LA MOJANA, QUE PERMITA OBTENER UN DIAGNOSTICO DETALLADO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LAS CITADAS ESTRUCTURAS	
Orden de trabajo:	202-001-15	
Nombre del Informe:	INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTRUCTURA DIQUE 3. PINILLOS	
Versión	Cambios Realizados	Fecha
0	Versión original	JULIO 24 2015
1	Se modifica documento en atención a observaciones oficio 144 de Agosto de 2015	SEPT. 09 2015

### ELABORADO POR:

Versión	Nombre	Firma	Fecha
0			JULIO 24 2015
1	EDUARDO GOMEZ		SEPT. 09 2015

### REVISADO POR:

Versión	Nombre	Firma	Fecha
0			JULIO 24 2015
1	DONALDO CASTILLA		SEPT. 09 2015

### APROBADO POR:

Versión	Nombre	Firma	Fecha
0			JULIO 24 2015
1	ALBERTO DURAN		SEPT. 09 2015

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA</b>	<b>10</b>
2.1 LOCALIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA	11
<b>3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b>	<b>14</b>
3.1 GENERALIDADES DE ANTECEDENTES AL PROYECTO	14
3.2 ESTUDIO PREVIO DE LA UNIVERSIDAD DEL NORTE-INVÍAS	14
3.3 ESTUDIO PREVIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEDELLÍN-INVÍAS	15
<b>4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA</b>	<b>16</b>
4.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	16
4.2 PROTEROZOICO	16
4.2.1 Neis de San Lucas (MPsl)	16
4.3 PALEOZOICO	17
4.3.1 Unidad Metamórfica de Pinillos (Pzp)	17
4.3.2 Esquistos de Armenia (Pzea)	17
4.4 TRIÁSICO - JURÁSICO	18
4.4.1 Formación El Sudán (T3s ?)	18
4.4.2 Formación Morrocoyal (J1m)	18
4.4.3 Formación Noreán (J1-2n)	18
4.5 GRANITOIDES DE SAN LUCAS (JGSL)	19
4.6 CUATERNARIO	19
Depósitos de Abanicos y Terrazas Aluviales (Qcal)	19
4.6.1 Llanuras de inundación (Qfal)	19
4.6.2 Depósitos Fluvio-lacustres (Qfl)	20
4.6.3 Depósitos de Coluvión (Qco)	20
4.6.4 Depósitos fluviales de canal (Qfc)	20
4.6.5 Suelos Residuales (Qs)	21
4.7 GEOLOGIA ESTRUCTURAL	21
4.7.1 Pliegues	21
4.8 FALLAS	22
4.8.1 Falla de Palestina	22
4.8.2 Falla Mejía	22
4.8.3 Fallas del bloque NW	22
4.8.4 Sistema de fallas del bloque SE	23
4.9 CONDICIONES SÍSMICAS DE LA ZONA	23
<b>5. ZONIFICACIÓN GEOMÉTRICA Y DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DEL DIQUE</b>	<b>25</b>
5.1 DESCRIPCIÓN DE ZONAS	28
5.1.1 Zona 1 (Abs. K0+000 – K0+040)	28
5.1.2 Zona 2 (Abs. K0+040 – K0+180)	29
5.1.3 Zona 3 (Abs. K0+180 – K0+294.1)	32
<b>6. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<b>34</b>

6.1	EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS .....	34
6.2	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	35
6.3	DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO .....	35
6.3.1	<i>Limos arenosos y arcillosos de baja plasticidad (Estructura del dique)</i> .....	36
6.3.2	<i>Perfil de fundación No 2</i> .....	42
6.3.3	<i>Perfil de fundación No 1</i> .....	47
6.4	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA .....	53
6.5	NIVEL FREÁTICO EN LA ZONA .....	57
6.5.1	<i>Consideraciones especiales para arenas con contenido de finos</i> .....	57
6.6	PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE LOS MATERIALES .....	57
6.6.1	<i>Parámetros de resistencia al corte no drenado (<math>S_u</math>)</i> .....	57
6.7	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DRENADOS .....	65
6.7.1	<i>Parámetros de resistencia al corte drenado (<math>c'</math> y <math>\phi'</math>)</i> .....	65
6.8	PARÁMETROS DE DEFORMABILIDAD DE LOS MATERIALES .....	73
6.8.1	<i>Módulos de elasticidad</i> .....	73
6.8.2	<i>Consolidación</i> .....	76
6.9	PERMEABILIDAD DE LOS MATERIALES .....	80
6.10	VERIFICACIÓN DE LA DISPERSIVIDAD DEL MATERIAL FINO QUE CONFORMA EL CUERPO DEL DIQUE	81
7.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	82
8.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	86



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Ubicación de la zona de La Mojana dentro el territorio norte de Colombia. ....	10
Figura 2-2 Localización de las Planchas objeto de estudio del proyecto. Ver localización de la Plancha 64 y su contexto geográfico. ....	11
Figura 2-3. Localización del dique Pinillos .....	11
<b>Figura 2-4. Foto del dique 3 Pinillos en la Zona 1 y su cercanía al Río Magdalena.</b> .....	12
Figura 4-1. Panorámica de la ciénaga de Jejenal. Morfología del Neis de San Lucas (MPsl) y de la Formación .....	16
Figura 4-2. Morfología de los depósitos de Llanura de Inundación (Qfal). Tomada al norte del municipio de Pinillos. Río Magdalena.....	20
Figura 4-3. Morfología de los depósitos Fluvioacústres (Qfl). Tomada al en la ciénaga de Tacasaluma. ....	20
Figura 4-4. Esquema estructural de la Plancha 64. Nótese el desplazamiento dextrolateral de la Falla de Mejía y la localización de los Diques de Mejía en las zonas de finalización de fallas conjugadas. ....	23
Figura 4-5. Zona de amenaza sísmica .....	24
Figura 5-1. Estado actual del Dique 3 Pinillos.....	26
Figura 5-2. Alineamiento dique 3 Pinillos y alineamiento vía .....	26
Figura 5-3. Vista en planta del trazado del terraplén de la vía, donde se presenta la división por zonas hecha con base en la visita de inspección y de la información recolectada en campo. .	27
<b>Figura 5-4. Foto de la cresta del terraplén de la vía existente en la Zona 1.</b> .....	29
<b>Figura 5-5. Foto del dique 3 Pinillos en la Zona 1 y su cercanía al Río Magdalena.</b> .....	30
<b>Figura 5-6. Foto del terraplén en la Zona 1 (cara aguas arriba) y pasos de acceso al Río Magdalena para captación de agua.</b> .....	31
Figura 5-7. Foto de la cresta del terraplén de la vía en la Zona 2. ....	32
Figura 5-8. Foto de la cresta del dique 3 Pinillos en la Zona 3.....	33
Figura 6-1. Foto de material recuperado en la perforación PT-DPN-1 ejecutada en la zona de estudio.....	37
Figura 6-2. Carta de plasticidad de Casagrande para el material limo arenoso y limo arcilloso que conforma el cuerpo del dique. ....	37
Figura 6-3. Esquema del número de golpes N corregido de ensayo SPT contra la profundidad, para las tres perforaciones ejecutadas en la zona de estudio. ....	38
Figura 6-4. Esquema de la humedad y límites de consistencia del material contra la profundidad para las perforaciones PT-DPN-1, PT-DPN-2 y PT-DPN-3.....	38
Figura 6-5. Curvas granulométricas obtenidas de los ensayos de laboratorio .....	40
Figura 6-6. Localización tomografía eléctrica en sentido longitudinal al terraplén de la vía existente. .....	41
Figura 6-7. Tomografía eléctrica en sentido longitudinal al terraplén de la vía existente. ....	41
Figura 6-8. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de arcilla de baja plasticidad 1. ....	42
Figura 6-9. Gráfico de resistencia a la penetración estándar (N60) contra la profundidad arrojado por el ensayo de PT DPN-1, ejecutado en la zona de estudio. ....	43
Figura 6-10. Perfil estratigráfico del suelo de fundación para la exploración PT-DP-1 realizada en la zona, donde se observa que el estrato aluvial de fundación está por encima del nivel freático. .....	44
Figura 6-11. Curva granulométrica para una muestra de arenas extraída de la perforación PT-DPN- 13. ....	45

Figura 6-12. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de arcillas de baja plasticidad 2.....	46
Figura 6-13. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de limos de baja plasticidad. ....	47
Figura 6-14. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de arcilla de baja plasticidad. ....	48
Figura 6-15. Gráfico de resistencia a la penetración estándar (N60) contra la profundidad arrojado por a.) Ensayo de PT DPN-2 b.) Ensayo de PT DPN-3, ejecutado en la zona de estudio. ....	48
Figura 6-16. Perfil estratigráfico del suelo de fundación para la exploración PT-DPN-2 realizada en la zona, donde se observa que el estrato aluvial de fundación está por encima del nivel freático.....	49
Figura 6-17. Perfil estratigráfico del suelo de fundación para la exploración PT-DPN-3 realizada en la zona, donde se observa que el estrato aluvial de fundación está por encima del nivel freático.....	50
Figura 6-18. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de arcillas de alta plasticidad.....	51
Figura 6-19. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de limo de baja plasticidad. ....	52
Figura 6-20. Evaluación de la estratigrafía con respecto a las tomografías. ....	54
Figura 6-21. Zonificación geotécnica del suelo de fundación del dique Pinillos. ....	55
Figura 6-22. Esquema de los perfiles estratigráficos para cada una de las zonas geotécnicas. ....	56
Figura 6-23. Relación entre la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) y el Índice de Liquidez. (Yilmaz, 2000). ....	58
Figura 6-24. Relación entre la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) y el Índice de Liquidez. (Bardet, 1997). ....	58
Figura 6-25. Relación entre la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) y el ensayo de SPT (NAVFAC DM-7.1, 1986).....	58
Figura 6-26. Relación entre el ángulo de fricción y el índice de plasticidad de suelos finos (Terzaghi, Peck y Mesri, 1996).....	65
Figura 6-27. Relación entre el ángulo de fricción y el índice de plasticidad de suelos finos (U.S. Army Corp of Engineers; GEH, 2002). ....	65

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 4-1. Definición de la zona de amenaza sísmica para la ubicación del dique 3 Pinillos</b>	<b>23</b>
Tabla 5-1. Resumen de la zonificación geométrica del terraplén.	27
Tabla 6-1. Resumen de perforaciones con recobro ejecutados sobre el dique Pinillos.	34
Tabla 6-2. Equipos empleados para la ejecución de las exploraciones en el tramo de estudio.	34
Tabla 6-3. Resumen de los ensayos de laboratorio ejecutados sobre las muestras extraídas de las exploraciones hechas en la zona del dique.	35
Tabla 6-4. Listado de normas empleadas en la ejecución de ensayos de laboratorio.	35
Tabla 6-5. Descripción de la consistencia de materiales finos con base en el valor de N60 y de la resistencia al corte no drenado del material (Terzaghi, Peck & Mesri. 3ra Edición, 1996 - Tabla 12.2)	36
Tabla 6-6. Criterio de clasificación de los suelos según su contenido de materia orgánica de la USCS.	39
Tabla 6-7. Requisitos del contenido de materia orgánica de los suelos que componen el cuerpo de un terraplén.	39
Tabla 6-8. Resumen de resultados de los ensayos de peso unitario por desplazamiento para el material del cuerpo del dique.	39
Tabla 6-9. Resultados del ensayo de granulometría PT-DPN-1	39
Tabla 6-10. Resultados del ensayo de granulometría entre los suelos extraídos con perforaciones en el dique.	40
Tabla 6-11. Criterio para la descripción de la densidad de las arenas con base en el número de golpes/pie corregido del ensayo SPT (Terzaghi, Peck & Mesri. 3ra Edición, 1996 - Tabla 12.1).	45
Tabla 6-12. Resumen de la zonificación geotécnica.	53
Tabla 6-13. Zonificación global de la estructura (Basado en la zonificación geotécnica y geométrica)	57
Tabla 6-14. Resultados del cálculo del valor de Su por medio de correlaciones empíricas.	59
Tabla 6-15. Resultados del cálculo del valor de Su por medio de correlaciones empíricas.	60
Tabla 6-16. Resultados del cálculo del valor de Su por medio de correlaciones empíricas.	61
Tabla 6-17. Resultados del cálculo del valor de Su por medio de correlaciones empíricas.	62
Tabla 6-18. Resultados del cálculo del valor de Su por medio de correlaciones empíricas.	64
Tabla 6-19- Parámetros Geotécnicos normalizados de suelos arenosos (norma rusa SNiP II-15-74 Cimentaciones de edificios y estructuras, Gosstroy URSS, Moscú, 1975).	66
Tabla 6-20- Parámetros Geotécnicos normalizados de sedimentos arcillosos cuaternarios (norma rusa SNiP II-15-74 Cimentaciones de edificios y estructuras, Gosstroy URSS, Moscú, 1975).	66
Tabla 6-21. Índice de vacíos de referencia.	67
Tabla 6-22. Relación de vacíos inicial materiales de fundación del dique	67
Tabla 6-23. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el material del cuerpo del dique por medio de correlaciones empíricas.	68
Tabla 6-24. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el material aluvial fino de fundación (Arcilla de baja plasticidad 1) - estrato superficial por medio de correlaciones empíricas.	69
Tabla 6-25. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el aluvial fino de fundación (Arcilla de baja plasticidad 2)- estratos intermedios por medio de correlaciones empíricas.	69
Tabla 6-26. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el material arcilla de alta plasticidad por medio de correlaciones empíricas.	70

Tabla 6-27. Resumen del cálculo del ángulo de fricción interno $\phi'$ , del peso unitario y del módulo de elasticidad ( $E_s$ ) por medio de correlaciones para el ensayo SPT para el depósito aluvial fino compuesto por limos arenosos.....	70
Tabla 6-28. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el material de limo de baja plasticidad 2 por medio de correlaciones empíricas.....	71
Tabla 6-29. Resumen del cálculo del ángulo de fricción interno $\phi'$ , del peso unitario y del módulo de elasticidad ( $E_s$ ) por medio de correlaciones para el ensayo SPT para el depósito aluvial grueso compuesto por arenas limosas de grano fino. ....	72
Tabla 6-30. Criterio de valores típicos y del módulo de elasticidad ( $E_s$ ) para materiales cohesivos y materiales arenosos. ....	73
Tabla 6-31. Resumen del cálculo del módulo de elasticidad ( $E_s$ ) por medio de correlaciones para el ensayo SPT para los diferentes materiales en la zona geotécnica 1. ....	74
Tabla 6-32. Resumen del cálculo del módulo de elasticidad ( $E_s$ ) por medio de correlaciones para el ensayo SPT para los diferentes materiales en la zona geotécnica 2. ....	75
Tabla 6-33. Módulos de elasticidad materiales de fundación del dique .....	76
Tabla 6-34. Correlaciones empíricas para estimar $C_c$ y $C_r$ .....	77
Tabla 6-35. Resumen de los parámetros $C_c$ y $C_r$ para el depósito fino compuesto por arcillas y limos en el suelo de fundación - Zona geotécnica 1.....	78
Tabla 6-36. Resumen de los parámetros $C_c$ y $C_r$ para el depósito fino compuesto por arcillas y limos en el suelo de fundación - Zona geotécnica 2.....	79
Tabla 6-37. Resumen parámetros para análisis de asentamientos.....	80
Tabla 6-38. Valores típicos de permeabilidad para materiales comunes. ....	80
Tabla 6-39. Valores característicos de permeabilidad para materiales encontrados. ....	81

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Formatos de inspección de campo.

Anexo B. Planos en planta de zonificación del dique y localización de perforaciones.

Anexo C. Perfil Geológico- Geotécnico, con base en resultados de exploraciones.

Anexo D. Cuadros con resumen de caracterización geotécnica.

Anexo E. Gráficos de resumen de propiedades índice de los materiales.

Anexo F. Resultados de ensayos de laboratorio, registros de perforación y normalización de N.

Anexo G. Secciones topográficas.

Anexo H. Registros de apiques, resultado de ensayo de laboratorio para apiques.

Anexo I. Informe de exploración geofísica con tomografías eléctricas.

# 1. INTRODUCCIÓN

Este informe es parte del contrato número 200 del 2014 entre el Fondo Adaptación y la empresa Suelos Ingeniería S.A.S para la evaluación geotécnica y estructural de 28 obras de protección hidráulica en la zona de la Mojana. El objetivo específico del estudio es obtener insumos geotécnicos que permitan posteriormente determinar la vida útil remanente del de las estructuras, su capacidad de regulación hidráulica, y las cantidades y las dimensiones de las obras necesarias para garantizar el funcionamiento de las mismas durante escenarios de amenaza. Este informe corresponde a la caracterización geotécnica del Dique 3 Pinillos.

Con base en la información obtenida de este informe, se procederá con los análisis de estabilidad geotécnicos pertinentes para determinar las condiciones actuales de las estructuras. Así mismo una vez ejecutados los análisis de estabilidad se procederá a hacer diseños a nivel de ingeniería básica del reforzamiento o remplazo de las estructuras, de ser necesario.

El proceso de caracterización presentado en este informe hace parte de la evaluación en el tramo mencionado anteriormente y consiste en el reconocimiento e inspección visual del dique en el tramo mencionado, en la caracterización geométrica y en la caracterización geotécnica de los materiales que lo componen y a su fundación.

El reconocimiento y la evaluación del dique fueron realizados por la visita de campo de geotecnistas especializados. Las exploraciones geotécnicas en esta zona están compuestas de sondeos por percusión. Las muestras obtenidas de los ensayos fueron estudiadas en el laboratorio de Suelos Ingeniería SAS donde se determinaron sus propiedades físicas y mecánicas, las cuales son presentadas en este informe.

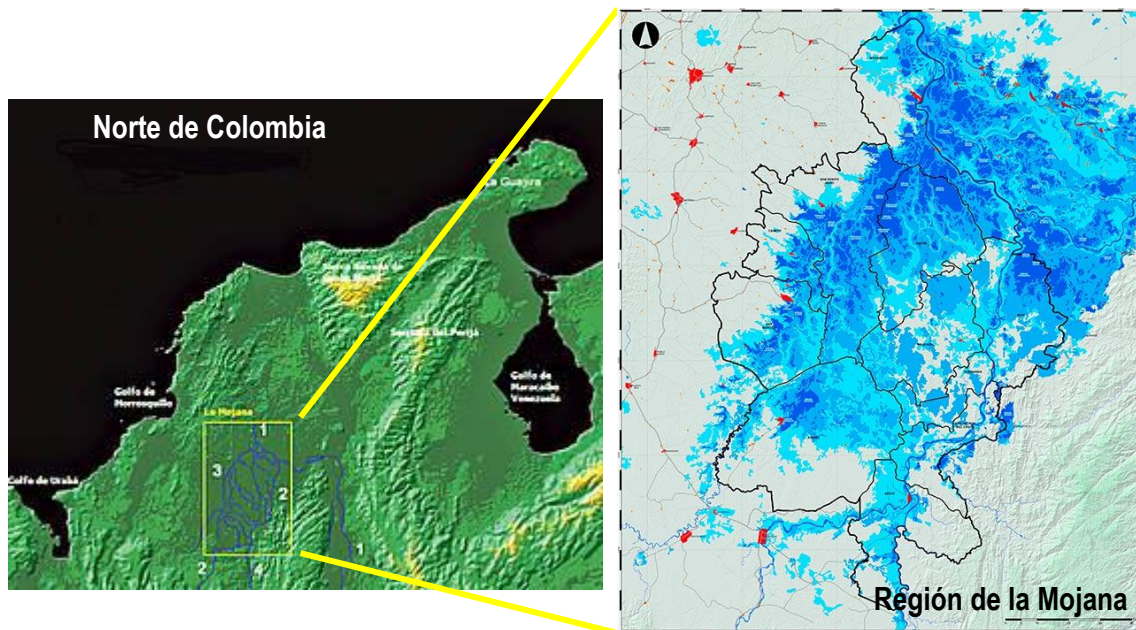
Posteriormente, basándose en los resultados de laboratorio y en la caracterización geométrica y geotécnica de la estructura, se realizó una zonificación del tramo estudiado, lo que permite un mejor análisis de la información obtenida. En el informe se presentan los criterios de zonificación, junto con la evaluación de campo y características de cada zona.

El informe muestra todos los resultados mencionados dando inicio a la etapa de evaluación del estado geotécnico actual del dique. Esto es el primer paso para determinar los puntos donde es necesaria una intervención para garantizar la protección de la zona contra amenazas por inundación.



## 2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

La región de la Mojana pertenece a un gran complejo de humedales en la región Momposina (Figura 2-1). La Mojana ha cumplido la función de regular principalmente los caudales del río Cauca, del río San Jorge, y del río Magdalena. En épocas precolombinas las inundaciones permitían a los pobladores de la zona, tomar el sedimento de los ríos como abono para la agricultura. Durante la colonización española la ganadería fue tomando un lugar cada vez más importante dentro del marco regional y la zona se fue poblando cada vez más. Esto redujo la selva tropical en la zona, haciendo más vulnerable inundaciones a las personas de la región. Adicionalmente se han desarrollado actividades mineras sobre el río, lo que ha incrementado la contaminación de este con mercurio.



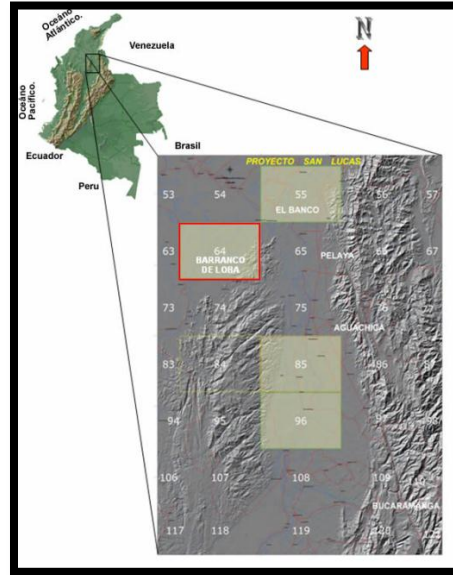
**Figura 2-1. Ubicación de la zona de La Mojana dentro el territorio norte de Colombia.**

Las actividades económicas que se desarrollan en la región se han visto afectadas por el proceso natural del control del caudal en el río Cauca. Esto ha obligado a sus pobladores a interactuar con las inundaciones periódicas que presenta la región. Durante la etapa precolombina se habitaban ciertos lugares únicamente en periodos de lluvia, lo que coloquialmente se conoce en nuestro país como invierno. Además se construyeron algunos canales de agua y terraplenes con el fin de controlar las inundaciones. Durante los últimos años se han desarrollado grandes proyectos cercanos a la Mojana como es la represa de Urrá sobre el Río Sinú, y la vía Montería-Cerete-Lorica, además de varios diques como el estudiado en este informe.

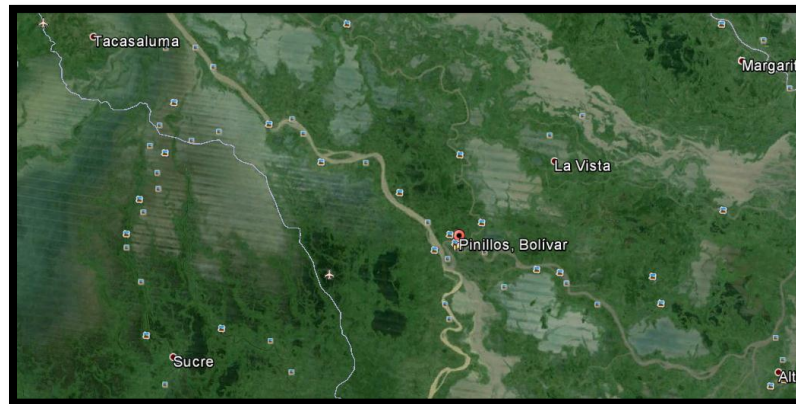
En los últimos años las estructuras de la zona han sufrido daños importantes por las crecientes que ha presentado los ríos que bañan la región, durante los periodos de lluvia. Esto ha obligado a la reparación y reconstrucción frecuente de las estructuras. La reparación de una estructura, como el caso del dique 3 Pinillos que es objeto del presente proyecto, muchas veces se hace por tramos en épocas diferentes, lo que genera en ocasiones heterogeneidad en la conformación del cuerpo de las estructuras.

## 2.1 LOCALIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA

El área del dique Pinillos se encuentra en La Plancha 64 Barranco de Loba, la cual se localiza en el extremo más septentrional de la Cordillera Central de Colombia (Figura 2-2), al Noroeste de la Serranía de San Lucas, en los departamentos de Bolívar y Sucre, entre las coordenadas planas del IGAC, con origen en Bogotá:  $X_1 = 1.440.000$ ,  $X_2 = 1'480.000$ ,  $Y_1 = 940.000$ ,  $Y_2 = 1.000.000$ . (Figura 2-2 y Figura 2-3).



**Figura 2-2 Localización de las Planchas objeto de estudio del proyecto. Ver localización de la Plancha 64 y su contexto geográfico.**



**Figura 2-3. Localización del dique Pinillos**

La caracterización geométrica y geotécnica del Dique 3 Pinillos, es el objeto del presente informe. La clasificación y caracterización geotécnica de los materiales que conforman la estructura y suelo de fundación en esta zona se determinó por medio de una campaña de exploración compuesta de: perforaciones por percusión con recobro (y ensayos SPT). Sobre muestras extraídas de las exploraciones con recobro se realizaron ensayos de laboratorio que permitieron conocer la naturaleza y característica de los suelos con los que fue construido el dique y de los suelos que se encuentran hasta 15.00 metros de su fundación.

Los suelos del sitio son de naturaleza predominantemente cohesiva. El subsuelo está conformado por un depósito aluvial de arcilla limosa con capas intercaladas de arena de grano fino y limos, su consistencia es variable entre muy blanda y medio firme. El dique se encuentra constituido arcillas de color marrón en estado compacto.

En el mes de Mayo un equipo de ingenieros especialistas en geotecnia hizo un recorrido de la estructura con el fin de hacer una inspección visual de la misma. Esta inspección tuvo el objetivo de revisar con detalle el estado actual del dique, determinando los puntos donde este presenta deterioro y las condiciones que lo ocasionaron, sus dimensiones, las condiciones en sus vecindades y los mecanismos de protección en sus caras, entre otros.

Por medio de la inspección visual fue posible determinar que el Dique 3 Pinillos presenta deterioro mediante socavación severa de su cuerpo comprometiendo su funcionalidad como estructura reguladora de inundaciones. La socavación provocó desprendimiento de la cresta y el cuerpo afectando drásticamente un tramo de aproximadamente 200m.

El dique estaba construido paralelo al río, prácticamente al borde de su orilla, haciendo a este vulnerable ante el fenómeno de socavación en su cara aguas arriba. En la fotografía se puede observar el estado del dique después de ocurrida la socavación.



**Figura 2-4. Foto del dique 3 Pinillos en la Zona 1 y su cercanía al Río Magdalena.**

Debido al estado de deterioro del dique y su cercanía con flujo directo del agua del río, se consideró apropiado no realizar la reconstrucción de este a lo largo del alineamiento existente sino más bien utilizar el alineamiento de una vía existente paralela a este y realzarla hasta lograr los niveles de cresta adecuado para garantizar la protección contra inundación. Por lo tanto, este documento se enfocará en la caracterización geométrica y geotécnica de la vía en terraplén existente, ya que se proyecta la construcción del nuevo dique 3 Pinillos como un realce de esta. Algunas de las características de esta vía se presentan a continuación.

La vía existente tipo terraplén no varía significativamente en altura ni en la elevación de su cresta. Este tramo de vía tiene alturas promedios de 3 m aproximadamente.

En la mayor parte de su longitud, la vía está recubierta en ambas caras por una capa vegetal que en algunos sectores es tupida y en otros es muy baja. Los taludes de la vía varían entre empinados con taludes de alrededor de 1.7H:3.0V. En

algunos sitios los taludes no presentan protección con vegetación dejando expuestas las caras a procesos de erosión y socavación, que pueden causar en el futuro las aguas de escorrentía. La determinación de los taludes se hizo por medio levantamiento topográfico de secciones transversales del dique.

Para el reconocimiento del terreno sobre el cual se encuentra la vía se realizó un estudio topográfico con secciones transversales aproximadamente cada 20 m. Este levantamiento se llevó a cabo por medio de estación total en secciones de longitud variable. La ubicación de las secciones se hizo por medio de GPS.

El recorrido de inspección de la estructura permitió, además de evaluar las condiciones actuales del dique y de la vía existente paralela a este, hacer una división por zonas de este tramo de la estructura. Estas zonas y su descripción detallada se presentan en el Capítulo 5.



### 3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

#### 3.1 GENERALIDADES DE ANTECEDENTES AL PROYECTO

En esta zona de estudio se realizaron cinco estudios de los cuales cuatro corresponden a estudios hidrológicos sobre el río Cauca. De estos cuatro estudios hidrológicos se presenta a continuación un resumen de la información entregada de los dos estudios que abarcaron un análisis completo sobre el Dique 3 Pinillos y que adicionalmente son los más recientes. Estos corresponden al estudio hecho por la universidad del norte e INVÍAS, y el estudio realizado por la universidad Nacional de Medellín con el INVÍAS.

#### 3.2 ESTUDIO PREVIO DE LA UNIVERSIDAD DEL NORTE-INVÍAS

La Universidad del Norte evaluó la zona de estudio en un convenio entre el Instituto Nacional de Vías, y la Universidad del Norte, el cual fue finalizado en el 2012 (Universidad Nacional de Medellín 2002). Este estudio fue realizado para determinar las condiciones físicas en la parte baja del río Cauca, específicamente entre Caucasia hasta la zona en que este río desemboca en el río Magdalena. Las condiciones físicas que se evalúan corresponden a la demanda que hace el río sobre los distintos bordes. De manera general, en este proyecto se realizaron las actividades y objetivos que se muestran a continuación.

- Estudios de geología, geomorfología y dinámica fluvial.
- La valoración económica de la región y un estudio de los sistemas de transporte del sitio.
- La caracterización hidráulica y de sedimentología con información suministrada por el IDEAM.
- Inventario de las estructuras hidráulicas en la zona que tengan como objetivo regular el río Cauca.
- Modelación física de las estructuras hidráulicas, encontradas en las proximidades al río Cauca. Estas valoraron el estado de las estructuras en el momento del estudio.
- Un plan de acciones en el corto, el mediano, y el largo plazo.

Para cumplir los objetivos hidráulicos la universidad realizó levantamientos batimétricos al río, aforos al río, y análisis de muestras sobre el lecho del río. Con estos datos se estudió los cambios en el caudal del río en diferentes puntos bajo diferentes circunstancias. Esto permitió obtener en algunos puntos el esfuerzo de arrastre sobre las orillas.

Sobre el inventario realizado por la universidad se concluyó que: en general las estructuras no están en buen estado, la mayoría de las que son longitudinales no poseen un relleno adecuado, algunas estructuras se encuentran en sitios no apropiados para dar una correcta protección. Todas las estructuras carecen de mantenimiento. Los anclajes de las estructuras no poseen el mismo material que conforman el cuerpo en caso de las estructuras metálicas. Es importante aclarar que este estudio previo no evaluó los diques de la zona; fue centrado en el análisis de protecciones de orilla y de espigones.

La evaluación determinó puntos de atención donde el estudio recomendó tomar medidas de atención. Entre las recomendaciones se encuentra incrementar el nivel de medidas sobre el río, y sobre la cuenca del mismo.

Adicionalmente concluyó que hay zonas de alto interés debido a la física del río y a la vulnerabilidad de las orillas en esos puntos.

### 3.3 ESTUDIO PREVIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEDELLÍN-INVIA

El estudio presentado en esta sección hizo una valoración de la zona de la Mojana con el fin de rediseñar y habilitar un sistema de control de inundaciones (Universidad del Norte 2012). Para cumplir con esto el estudio presentó los análisis mencionados a continuación:

- Generalidades de la zona de estudio.
- Antecedentes del proyecto.
- Estudio geológico y geomorfológico de la región.
- Estudio de desarrollo histórico de la región y aspectos socioculturales.
- Estudios hidráulicos e hidrológicos de la Mojana.
- Diseños y medidas para las obras hidráulicas con el fin de mitigar el riesgo en las principales cabeceras municipales de la región.

En lo referente al Dique 3 Pinillos, este estudio recomendó realizar obras que prevengan la erosión del dique. Estas obras están encaminadas a prevenir la erosión y el rompimiento que el río pueda generar en el dique. El informe concluye que, estas obras son de importancia ya que la zona es propensa a inundaciones dada su topografía que genera divisiones del flujo del río en múltiples brazos. Adicionalmente el estudio señaló como de alta importancia la reconstrucción del dique en ciertas zonas. Dentro de estas obras se destacan, el cierre de Santa Anita, Nuevo Mundo, Potrero Nuevo y en San Jacinto. Algunas de estas obras de reconstrucción ya han sido ejecutadas a la fecha.



## 4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA

### 4.1 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

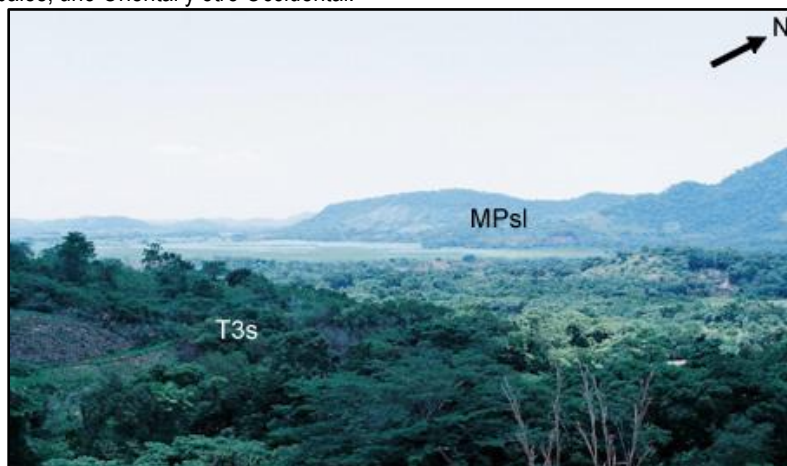
En el área de la Plancha 64 afloran rocas constituidas por metamorfitas, volcanoclastitas, magmatitas y sedimentitas que varían en edad desde Mezoproterozoica hasta probablemente Neógena, y ocupan aproximadamente el 24% del área de la Plancha. Estas rocas se presentan mayoritariamente en la región oriental de la misma y hacen parte del flanco noroccidental de la Serranía de San Lucas. Los depósitos consolidados y no consolidados del Pleistoceno-Holoceno cubren el 76% restante de su superficie y rellenan la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.

Las características litológicas de las rocas fueron los principales criterios utilizados para agruparlas en unidades del rango de Formación o equivalentes. Para designarlas se adoptó la nomenclatura utilizada anteriormente por INGEOMINAS en los mapas geológicos de las Planchas adyacentes (75 y 65). La mayoría de las unidades descritas en este subcapítulo son formales. Se proponen por primera vez, en calidad de unidades informales, la Unidad Metamórfica de Rosario (PZr), con sus dos conjuntos: Esquistos de Armenia (PZea) y Filitas de Tapoa (PZft). En la gran mayoría de los casos la edad de las unidades se estableció directamente con base en dataciones radiométricas; la de las restantes se estableció con base en su posición estratigráfica y correlación litológica con unidades que fueron anteriormente cartografiadas en la Plancha 65, algunas de las cuales se continúan en el área de Plancha 64. Las unidades se describen de más antiguas a más jóvenes.

### 4.2 PROTEROZOICO

#### 4.2.1 Neis de San Lucas (MPsl)

Esta unidad metamórfica, fue inicialmente propuesta por Royero (1997), para designar un conjunto de neises anfibólicos presentes en el área del Corregimiento de Pueblo Nuevo, margen Occidental del Brazo Papayal. La unidad toma el nombre de la Serranía de San Lucas, cuya estribación Oeste cubre la región Oriental de la Plancha 64. En este trabajo se propone denominarla formalmente como Neis de San Lucas. Geográficamente, la unidad se encuentra distribuida en dos sectores principales, uno Oriental y otro Occidental.



**Figura 4-1. Panorámica de la ciénaga de Jejenal. Morfología del Neis de San Lucas (MPsl) y de la Formación Sudán (T3s).**

## 4.3 PALEOZOICO

### 4.3.1 Unidad Metamórfica de Pinillos (Pzp)

Se propone en este trabajo siguiendo las indicaciones de la Guía Estratigráfica Internacional (Salvador, 1994), emplear el nombre informal de Unidad Metamórfica de Pinillos, para designar la secuencia de rocas metamórficas, aflorantes en los cerros que sobresalen de la Ciénaga del Rosario (cuadrícula B-6), el brazo de Tapoa, y los que emergen del sistema de ciénagas del Brazo de Loba, entre el Corregimiento de Río Nuevo (cuadrícula C-8) y el Municipio de Pinillos (cuadrícula A-4).

Esta Unidad está conformada por dos litologías predominantes, una inferior denominada Esquistos de Armenia y otra superior denominado Filitas de Tapoa. El conjunto inferior, está compuesto por esquistos andalucíticos (variedad Quiastolita), esquistos cuarcítico - anfibolíticos a cuarcítico - biotíticos, e incluso feldespático-cuarzosos con biotita. El conjunto superior, está constituido predominantemente por filitas y en menor proporción por cuarcitas (ANEXO H: Columna Litoestratigráfica).

### 4.3.2 Esquistos de Armenia (Pzea)

Se emplea en este trabajo el nombre de Miembro Esquistos de Armenia, para designar la secuencia de esquistos presentes al noroeste de las estribaciones de la Serranía de San Lucas. Estas rocas afloran principalmente al Sur del Corregimiento de Armenia (cuadrícula A-6), del cual toma el nombre, en forma de cerros aislados, a modo de islas en medio de las ciénagas (FIGURA 5), como son los cerros 'La Caimanera' (cuadrícula B-6) y 'San Pedro' (cuadrícula B-6), al igual que los grandes cerros localizados en el borde Sur de la Ciénaga El Rosario (cuadrícula B-6).

Los Esquistos de Armenia se caracterizan litológicamente por ser una secuencia muy monótona compuesta fundamentalmente de esquistos pelíticos con andalucita de variedad quiaistolita, presentes en el cerro La Caimanera (cuadrícula B-6), con textura porfidoblástica (entorno a 10%), en una matriz afanítica (entorno al 90%). En estas rocas se reconocen entre los porfiroblastos, cristales alargados de andalucita y biotita en menor proporción, los cuales al romperse permiten ver la cruz característica de la variedad quiaistolita. Análisis preliminares de estas rocas mediante microscopía óptica, permiten identificar en la matriz cristales de cuarzo, plagioclasa, moscovita, biotita, sericita, clorita, grafito, circón y rutilo.

#### Filits de Tapoa (Pzft)

Con el nombre de Filits de Tapoa, se define una secuencia de filits y cuarcitas expuestas en los cerros de Tapoa (cuadrícula C-7) y Guayabal (B-7), entre los corregimientos de Santa Rosa (B-6) y Río Nuevo (C-8). El nombre de esta unidad proviene del cerro Tapoa, localizado 8 km al Sudeste del Corregimiento de Armenia (A-6). Los trabajos e investigaciones geológicas disponibles actualmente en las estribaciones del área de la Serranía de San Lucas, no reportan filits o cuarcitas como las observadas en el área de la Plancha 64, siendo esta la primera referencia de este tipo de rocas en la región Septentrional de la Serranía

La secuencia presenta una foliación metamórfica regional entre N10-40°E, con foliaciones al NW y SE, intensamente plegadas y afectadas por pequeñas fallas, como la que se presenta en la escuela del Cerro Tapoa, en donde se observa un cambio definido del rumbo e inclinación de la foliación de N10E/42NW a N20W/84SW en un ancho de 10 m. El rumbo y las direcciones de la foliación, regionalmente son paralelos con el trazo de la falla de Palestina, inferido a partir de información aeromagnética. Esta concordancia estructural habla a favor de un acrecentamiento de las rocas del Miembro Filits de Tapoa, contra un antiguo margen continental conformado por rocas del Proterozoico de la Formación Neis de San Lucas, separadas entre sí por el trazo de la Falla de Palestina.

Litológicamente esta unidad es correlacionable con la parte más superior del Grupo Quetame en la región del Piedemonte Llanero y probablemente con la parte superior de las filits de Ometá en la región de Paz del Río. No es clara su comparación con unidades litológicas en la región del Macizo de Santander.

#### 4.4 TRIÁSICO - JURÁSICO

Las rocas de edad Triásica, están constituidas por secuencias sedimentarias, en tanto el Jurásico por secuencias vulcanosedimentarias definidas como:

##### 4.4.1 Formación El Sudán (T3s ?)

Esta Formación fue definida por Geyer en 1976, en la sección aflorante entre el Caserío de El Sudán (la G-9) y Loma Los Ángeles (G-10) y en la sección aflorante en la Quebrada La Mojana. Según Geyer (1982), esta unidad hace parte junto con otras formaciones del Mesozoico de los Andes Septentrionales, de seis magnafacies (I a VI). El autor incluye en la magnafacies I formaciones de edad Triásico - Jurásico, agrupando areniscas y conglomerados rojos, con intercalaciones de evaporitas y vulcanitas, que comprenden las Formaciones Mitú, Luisa y El Sudán. Según el autor la Formación El Sudán está constituida por areniscas rojas y conglomerados comparativamente similares a los descritos en la Formación Luisa, del Valle del Medio del Magdalena.

Durante el reconocimiento cartográfico de la región comprendida en la Plancha 64, fue posible levantar una sección estratigráfica de esta formación entre la Ciénaga El Amparo (G-8 y G-9) y el Corregimiento de El Sudán (G-9). En esta sección es posible observar de base a tope una secuencia sedimentaria lodoso-arenosa de colores rojo grisáceo a gris amarillento con delgadas capas de areniscas conglomeráticas. La unidad presenta fuertes contrastes morfológicos con las unidades infrayacentes y suprayacentes: Neis de San Lucas y Formación Morrocoyal respectivamente.

##### 4.4.2 Formación Morrocoyal (J1m)

El nombre de Formación Morrocoyal fue inicialmente empleado por Trumpy (1943), para referirse a una sucesión de arcillolitas y calizas oscuras bien laminadas ricas en amonitas y bivalvos, presente en la región de la Ciénaga de Morrocoyal (cuadrículas F-9, G-8 y G-9). Una descripción detallada y un estudio paleontológico de la unidad, fue efectuada por Geyer (1969), con base en una sección localizada a 2 Km. Del Corregimiento del Sudán (Municipio de Altos del Rosario), Departamento de Bolívar, por el camino que conduce del cementerio de esta localidad hacia la Loma de Los Ángeles (G-10). Según el autor, la unidad se compone de lutitas gris oscuras con un espesor de 80 metros, algunas de las cuales contienen una fauna fósil muy rica en amonitas, las cuales en su mayoría están aplastadas. Hacia la parte superior se observan vulcanitas intercaladas.

El espesor medido para la Formación Morrocoyal es de 65 m en la sección de la Loma de Los Ángeles. El contacto inferior con la Formación El Sudán en esta sección es neto, marcado por el paso de arenitas tobáceas de color amarillo a shales oscuros (ANEXO H: Columna Litoestratigráfica).

##### 4.4.3 Formación Noreán (J1-2n)

El nombre de esta unidad fue propuesto por Clavijo (1996), para una secuencia volcanoclástica que aflora en la carretera Buturama - Bombeadero, de la Plancha 75, Aguachica, la cual fue subdividida de base a techo con base en su litología, composición y estilo de emplazamiento, en cuatro conjuntos: Clástico - piroclástico (Jncp), piroclástico - epiclástico (Jnpe), efusivo dacítico (Jned) e hipoabisal andesítico (Jnha).

En general las rocas de esta unidad constan de tobas y aglomerados cristalino-líticos, de color gris verdoso a rosado en capas planas a ligeramente onduladas, de composición dacítica a riolítica, con fenocristales y cristales de plagioclasa, cuarzo y fragmentos angulares de tobas, con estructuras de flujo. Se intercalan capas de lavas dacíticas las cuales también se observan en forma de diques en algunos sectores (ANEXO H: Columna Litoestratigráfica).

#### **4.5 GRANITOIDES DE SAN LUCAS (JGSL)**

Esta unidad fue descrita por Clavijo (1996), para describir un conjunto de rocas ígneas que afloran en la región Occidental de la Plancha 65, compuestas por granodioritas con cristales de tamaño fino a medio, de color gris claro a verdoso, con cuarzo, plagioclasa y anfíbol, las cuales varían a cuarzodioritas y cuarzomonzonitas de color rosado. Presenta mineralización con sulfuros, principalmente pirita y calcopirita. Según Clavijo (1996), la textura fina y micrográfica característica de estos cuerpos y su tamaño relativamente pequeño, permiten considerarlos como apófisis del Batolito de Norosí, intrusivo granodiorítico que cubre de Sur a Norte gran parte de la Serranía de San Lucas. En la Plancha 64, estos cuerpos afloran en el extremo Suroriental (FIGURA12), y se extienden por el oriente desde el Caserio de La Pacha (E-10), hacia el Norte pasando por Pueblito Mejía (F-12) y San Antonio (B-12).

#### **4.6 CUATERNARIO**

Los depósitos identificados, en general pueden clasificarse por su origen en: depósitos de dinámica fluvial y de acumulación, los cuales se agrupan en abanicos aluviales y terrazas (Qcal), llanuras de inundación (Qfal), depósitos fluvioacustres (Qfl), depósitos de Coluvión (Qco), depósitos de canal (Qfc) y depósitos residuales (Qs).

##### **Depósitos de Abanicos y Terrazas Aluviales (Qcal)**

Los abanicos corresponden a unidades sedimentarias acumuladas en ambientes fluviales durante el Cuaternario. Se desarrollan en zonas donde se presentan cambios de pendiente que permiten la acumulación del material acarreado por los Ríos desde las partes altas de sus cauces. Presentan leve inclinación por efectos del levantamiento regional y de la acumulación de material. Las terrazas se producen por acumulación de material aluvial y posterior profundización de las corrientes.

En general estos depósitos están conformados por bloques, cantos, gravas, arenas y limos, de composición volcánico-sedimentaria, ígnea y metamórfica, cuyos cantos son subredondeados a redondeados, con tamaños que superan en algunas ocasiones el metro de diámetro en cercanías al piedemonte. Se presentan hacia el flanco noroccidental de la Serranía de San Lucas, al oriente de la población de San Antonio.

##### **4.6.1 Llanuras de inundación (Qfal)**

Las llanuras de inundación presentan una gran extensión observándose hacia la parte central de los valles de los Ríos Magdalena y Cauca. Dentro de las geoformas típicas asociadas a las llanuras de inundación se incluyen diques naturales, llanuras de inundación distal, llanuras de inundación proximal, abanicos por desborde de canal, meandros abandonados, paleocanales, diques naturales antiguos y Llanuras de inundación antiguas (Figura 4-2). Algunas llanuras generan terrazas en los cauces de ríos y quebradas y desarrollan geoformas de acumulación a medida que ocurren procesos de migración lateral de corrientes. Estos depósitos se componen principalmente de arenas y limos, aunque también existen gravas y cantos asociados a paleocanales.



**Figura 4-2. Morfología de los depósitos de Llanura de Inundación (Qfal). Tomada al norte del municipio de Pinillos. Río Magdalena**

#### **4.6.2 Depósitos Fluviolacustres (Qfl)**

Estos depósitos están cubiertos por lagos, lagunas y ciénagas, algunas bordeadas por materiales recientes de terrazas de playa que las separan de las zonas de aporte fluvial (Figura 4-3). Dentro de esta unidad también se observan depósitos asociados a deltas y paleodeltas de antiguas corrientes de agua que desembocaban en las zonas lacustres.

En general predominan lodos y arenas finas como resultado de la disminución en el nivel del agua por desecación paulatina de zonas lacustres



**Figura 4-3. Morfología de los depósitos Fluviolacustres (Qfl). Tomada al en la ciénaga de Tacasaluma.**

#### **4.6.3 Depósitos de Coluvión (Qco)**

Estos materiales se originan por acción de la gravedad principalmente asociados a la parte media y baja de las laderas de la Serranía de San Lucas, sector Noroccidental. Su composición varía de acuerdo al tipo de roca parental y están conformados por bloques y cantos angulares dispuestos caóticamente.

#### **4.6.4 Depósitos fluviales de canal (Qfc)**

Corresponden al material que actualmente es arrastrado por la dinámica de los Ríos Magdalena y Cauca, los cuales se encuentran confinados a sus canales. Incluye barras puntuales, longitudinales y transversales, diques naturales, islas e islotes. Se incluyen también dentro de esta unidad, estrechos valles en las zonas montañosas cuyas quebradas y ríos transportan el material de las unidades que atraviesan. En general tienen formas de valles levemente cerrados. Se componen de arenas, gravas y bloques hacia las zonas montañosas, mientras que en las zonas planas predominan arenas y limos.



#### 4.6.5 Suelos Residuales (Qs)

Corresponden a materiales completamente meteorizados en las cuales no se observan las características físicas y mineralógicas de la roca original. Estos suelos presentan una alteración que en su etapa inicial genera fragmentos altamente meteorizados de gran tamaño y en su etapa final arcillas. Entre estos dos extremos se puede encontrar una mezcla de diferentes tamaños de grano.

Dentro de esta unidad se incluyen materiales con grados de meteorización moderado a alto (grados VI y V,) y el correspondiente suelo residual (horizontes A, B y C) (Deerman, 1974). La resistencia a la acción mecánica y a la erosión en estos materiales se reduce apreciablemente, incrementándose la porosidad y la susceptibilidad a procesos denudativos.

Los suelos residuales forman una cobertura superficial de espesor no determinado, pero por lo observado en varios cortes viales y en sectores planos a lo largo de la quebrada Mejía, su espesor puede ser en promedio de 5 metros en suelos de origen ígneo, metamórfico y volcánico sedimentario. Dichos materiales se presentan en zonas ligeramente inclinadas y en pendientes bajas a moderadas, encontrándose mejor desarrollados en las rocas ígneas

#### 4.7 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El área de la Plancha 64, está ubicada en el extremo noroccidental de la Serranía de San Lucas. En esta área es posible reconocer diferentes tipos de estructuras tales como pliegues y fallas, relacionadas a procesos de deformación ocurridos en diferentes periodos del tiempo geológico. El principal rasgo estructural presente en la zona, corresponde a la Falla de Palestina, cuya traza está cubierta en su totalidad por depósitos cuaternarios. Otros rasgos estructurales de extensión menor corresponden a fallas de rumbo NE – SW y fallas conjugadas NW – SE, localizadas en zonas donde es notoria la presencia de enjambres de diques de composición variable.

##### 4.7.1 . Pliegues

En el área de la Plancha, se observan varios pliegues que afectan a las diferentes unidades presentes en la región. Algunos de estos pliegues se encuentran en la parte Sur de Pueblito Mejía (cuadrícula F12), mientras otros se localizan en la zona de El Sudán (G-9) y la Ciénaga El Amparo (G-8 y G-9).

Los pliegues localizados en la región Sur de Pueblito Mejía afectan rocas del Neis de San Lucas y de la Formación Noreán. El trazo del plano de charnela en superficie de estos pliegues presenta un rumbo NNE – SSW, con una longitud de 2 a 7 Km., y una separación entre flancos superior a los 2 Km. La erosión en la zona ha dejado en las partes altas de estos anticlinales, parches de la Formación Noreán, mientras en los valles de los ríos y quebradas, buenas y extensas exposiciones del Neis de San Lucas.

Estos pliegues se presentan en la zona donde se encuentran las fallas de rumbo conjugadas a la Falla Mejía, guardando un ángulo con respecto a estas estructuras, de 30 a 40° en el sentido de las manecillas del reloj, configurando un arreglo inclinado.

La región de los Corregimientos de El Sudán (G-9) y Colorado (H-8), incluyendo los cerros presentes en las ciénagas de Matahombre (G-8) y Morrocoyal (F-9, G-8 y G-9), muestran unidades sedimentarias Mesozoicas, con pliegues cuyas direcciones oscilan de N – S a NNE – SSW. En general son pliegues con longitudes superiores que varían entre 3 - 10 Km. y anchos de 1 a 2 Km, en donde se destaca el anticlinal del Sudán. Regionalmente parecen estar limitados entre las fallas de Palestina y Mejía, que presentan arreglo en forma inclinada.

El arreglo inclinado (echelon) que muestran ambas regiones con plegamiento y su cercanía a fallas como Mejía y Palestina, hacen pensar que estas estructuras son el resultado de los movimientos diferenciales entre bloques con importantes componentes de rumbo en la región, siendo concordante con los campos de esfuerzos desarrollados en zonas de transpresión.



#### 4.8 FALLAS

En el área de la plancha se identifica el sistema de Fallas de Palestina asociado a dos grandes lineamientos regionales, el de la Falla Colorado y el del lineamiento Geomagnético de la Falla de Palestina; de este gran sistema se desprenden estructuras regionales de relevo como el de la Falla de Mejía y la Falla de Quebrada Naranjal. Asociado a estos dos sistemas regionales se relacionan estructuras de menor extensión, las cuales permiten definir dos bloques estructurales, uno comprendido entre las fallas de Palestina y Mejía (bloque NW) caracterizado por la presencia de rocas precámbricas de composición anfibólica y cuarzofeldespática, y el sedimentario jurásico de Sudán y Morrocoyal; y el bloque SE, comprendido entre la Falla de Mejía y la Falla La Azulita (ubicada en la región del Cerro El Piñal, Plancha 65) caracterizado por la presencia de rocas precámbricas cuarzofeldespáticas y diques dacíticos, traquíticos y riolíticos neógenos (?) mineralizados (ANEXO G: Mapa Geológico).

##### 4.8.1 . Falla de Palestina

Esta falla atraviesa a la Plancha 64 de Sur a Norte. No tiene expresión morfológica en el área, pero gracias a mapas aeromagnéticos, es posible identificar su trazo bajo los depósitos recientes y las ciénagas ubicadas al occidente del Corregimiento Los Cerritos (B-8). El rumbo general de esta falla es Norte Sur en el área del Corregimiento Colorado, a NNE en la región del Corregimiento Los Cerritos. En superficie, esta estructura coloca en contacto rocas de la Formación Neis de San Lucas al Oriente, con rocas de la Formación Filitas de Tapoa al Occidente. La dirección de alargamiento de los cerros (Ej. Tapoa y Guayabal), es coincidente con el rumbo general del trazo magnético de la Falla de Palestina en profundidad. En este trabajo, se interpreta que la Falla de Palestina es una falla inversa, que gradualmente gana componente de rumbo dextrolateral en la región del Corregimiento Los Cerritos, por su gradual giro hacia el NE. Según Feininger et al. (1970), esta falla ha modificado y reactivado la tectónica de la Serranía de San Lucas durante el Terciario.

Fallas con rumbo N – S con ligeros cambios de rumbo a SW-NE, paralelas a la Falla de Palestina, afloran al sudeste de la Plancha 64, entre La Pacha (cuadrícula E-10) y Pueblito Mejía (cuadrícula F-12), afectando principalmente rocas de las formaciones El Sudán y la Formación Noreán. Estas estructuras son de pequeña extensión y parecen estar afectadas o desplazadas por fallas de movimiento dextrolateral, con rumbo N 50°-60° E (Falla de Mejía), y fallas menores con rumbo similar con movimiento sinestrolateral.

Fallas inversas con dirección de avance estructural hacia el Noroeste, son las fallas de Colorado y La Flojera. En general son fallas que afectan todas las secuencias de rocas de la región, y es posible que ejerzan un leve control estructural, en la distribución actual de las ciénagas y direcciones de los brazos del Río Magdalena en la región.

##### 4.8.2 . Falla Mejía.

Falla activa de dirección N50°-60°E y traza superior a los 20 Km en esta Plancha, que presenta continuidad en la Planchas 65 (Tamalameque) y 55 (El Banco), en donde afecta el trazo de la Falla Bucaramanga – Santa Marta. La Falla de Mejía, ubicada en la parte sudeste de la Plancha 64, enfrenta rocas sedimentarias de la Formación Sudán, con volcanoclásticas del Noreán, y pone en contacto rocas precámbricas del Neis de San Lucas y jurásicas de los Granitoides de San Lucas; y en el sector de la inspección de Pueblito Mejía, afecta los depósitos aluviales recientes. Según lo observado en las fotografías aéreas e imágenes de satélite, a esta falla se asocian geoformas como ganchos de falla, corrientes desplazadas, contrapendientes, que permiten inferir que es normal, con fuerte componente de rumbo dextro – lateral, basculando el bloque estructural NW hacia el SE. Esta falla al igual que las demás de este sistema, se enmascaran tanto al Norte como al Oeste por los espesos depósitos de sedimentos aluviales de los Ríos Magdalena y Cauca.

##### 4.8.3 . Fallas del bloque NW

Este bloque está limitado por las Fallas de Palestina y Mejía, caracterizado por el desarrollo de pliegues con arreglo inclinado (echelon), y algunas fallas conjugadas de rumbo N – S y NE - SW. Este bloque presenta unidades más jóvenes hacia el Oriente y más antiguas hacia el Occidente, indicando un basculamiento del bloque hacia el Sudeste por efecto

de la Falla de Mejía. Morfológicamente, controlan los cauces de quebradas como La Mojana (G-10 y G-11) y Rosario, y levantan bloques de la Formación Noreán. En este sector, el arreglo de los pliegues inclinados (echelon), junto con las fallas, configuran una zona de deformación por cizalla simple dextral, entre las fallas de Palestina y Mejía; y en las zonas de cruces entre las fallas NE – SW y N – S es frecuente encontrar rocas del Granitoide de San Lucas.

#### 4.8.4 . Sistema de fallas del bloque SE

En este bloque se encuentran fallas con rumbo N20-30°W, las cuales están subordinados a las fallas Mejía y La Azulita (Plancha 65, Tamalameque). Los rasgos tectónicos pertenecientes a este sistema son de corta longitud (5 - 20 Km.), con separaciones de 1 a 5 Km, con un aspecto de enrejado. Es característico en las zonas de cruce entre las fallas mayores y este sistema de fallas, encontrar rocas del Granitoide de San Lucas, indicando un posible control estructural en el emplazamiento de estos cuerpos, gracias al movimiento conjugado de las fallas principales. Además, por el movimiento dextral de cizalla que presenta la Falla de Mejía, se observan pliegues con ejes de estructuras inclinadas (echelon) a 30° en sentido horario, que afectan rocas metamórficas del Neis de San Lucas y la Formación Noreán.

En resumen, todo el bloque, es el resultado del movimiento dextral conjugado entre las fallas de Mejía y La Azulita que plegaron y fracturaron la región, permitiendo el emplazamiento de rocas de los Granitoides de San Lucas (Figura 4-4).

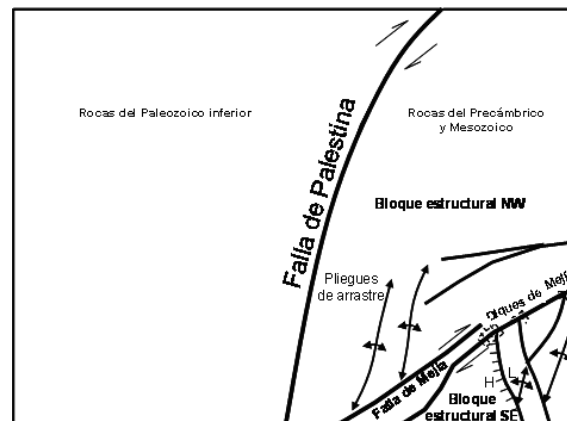


Figura 4-4. Esquema estructural de la Plancha 64. Nótese el desplazamiento dextral de la Falla de Mejía y la localización de los Diques de Mejía en las zonas de finalización de fallas conjugadas.

#### 4.9 CONDICIONES SÍSMICAS DE LA ZONA

Según el código colombiano de construcción sismo resistente, el tramo del Dique 3 Pinillos (objeto del presente estudio), se encuentra en una zona de sismicidad INTERMEDIA, como se puede observar en la figura tomada de la Norma Sismo Resistente (NSR 10, 2010) presentada a continuación

Departamento de Bolívar						
Municipio	Código Municipio	A <sub>a</sub>	A <sub>v</sub>	Zona de Amenaza Sísmica	A <sub>e</sub>	A <sub>d</sub>
Mompós	13468	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Montecristo	13458	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Morales	13473	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Pinillos	13549	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.03

Tabla 4-1. Definición de la zona de amenaza sísmica para la ubicación del dique 3 Pinillos

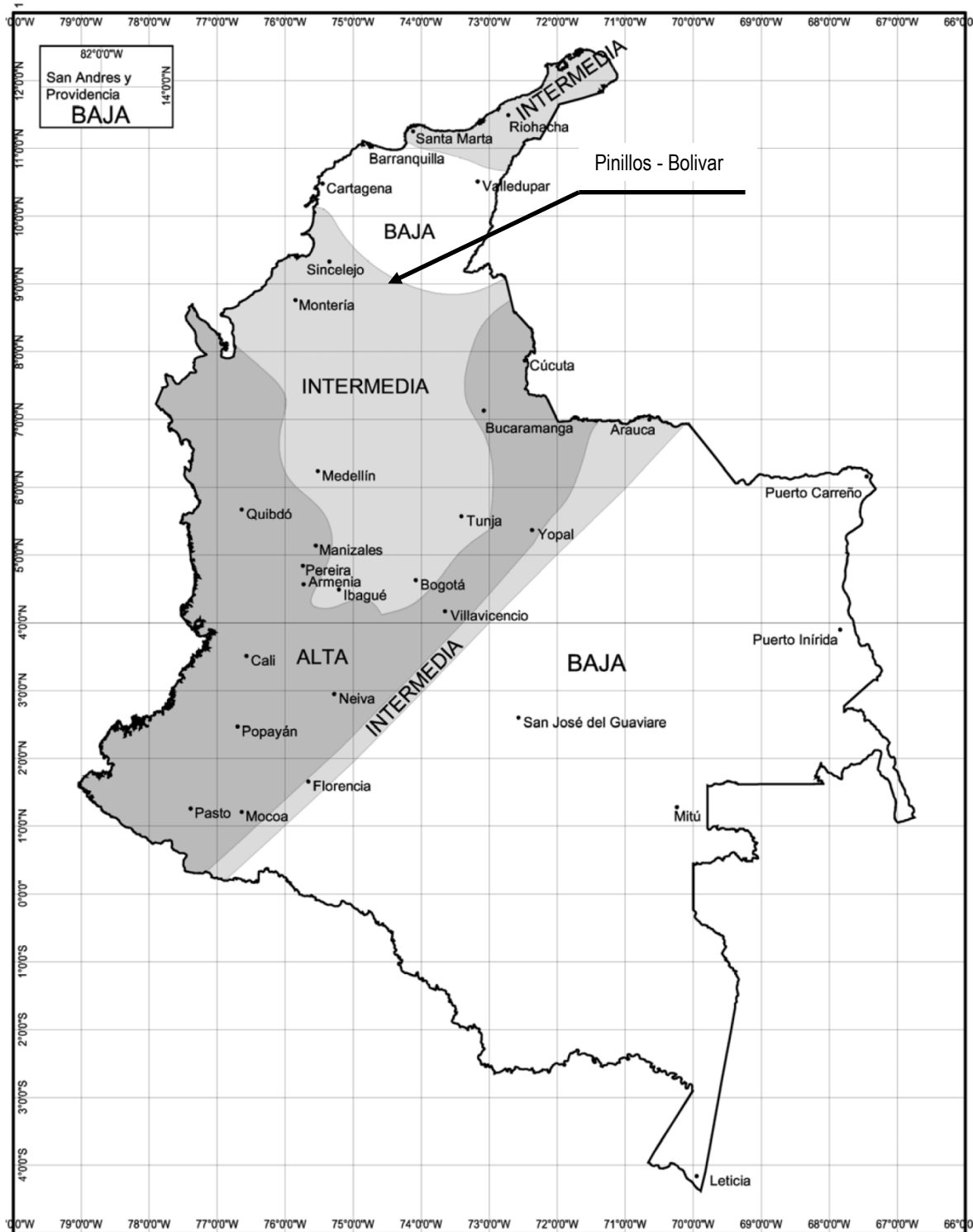


Figura 4-5. Zona de amenaza sísmica

## 5. ZONIFICACIÓN GEOMÉTRICA Y DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DEL DIQUE

Durante los primeros días del mes de marzo del año 2015 se hizo una visita de inspección al Dique 3 Pinillos, para constatar sus características geométricas y de construcción, además de su estado actual. Durante esta visita se diligenció el formato de inspección visual de las estructuras en los sitios en donde se encontraron eventos o accidentes en el dique, y/o donde por circunstancias particulares se consideró pertinente por parte de los ingenieros que realizaron la visita.

Durante la visita de inspección a la estructura se levantaron puntos de interés (georreferenciados), marcando zonas donde la estructura cambia en dimensiones, composición, protección, condiciones de drenaje o donde se presentan circunstancias particulares que ameritaron la toma de puntos. Adicionalmente se hizo un registro fotográfico de los puntos de interés y de los eventos encontrados durante el recorrido a la estructura.

Los hallazgos principales se presentan a continuación son considerados para la definición del nuevo alineamiento del dique 3 Pinillos:

1. El dique 3 pinillos falló en una longitud de aproximadamente 200m. La falla del dique se produjo por socavación severa debido a las crecientes del río Magdalena que fluyen paralelas a este. El cauce del río invadió parte de la estructura existente tal y como se puede apreciar en la Figura 5-1.
2. Paralela al dique 3 Pinillos se encuentra una vía existente levantada sobre un terraplén (véase Figura 5-2) y construida con material de préstamo lateral y corresponde al mismo material con el cual fue construido el cuerpo del dique . Esta vía tiene actualmente una cota de rasante menor a la cresta del dique. Su ancho varía entre 2.0 y 4.0m.
3. Considerando la imposibilidad de construir un nuevo dique sobre el alineamiento del dique existente, se propone utilizar tanto el alineamiento como parte del terraplén de la vía existente para realzar el nuevo dique sobre esta.

Considerando los hallazgos realizados y las razones expuestas se realizará la caracterización geométrica y geotécnica sobre el terraplén de la vía existe y sobre el cual se realizará el nuevo dique 3 Pinillos.







Figura 5-1. Estado actual del Dique 3 Pinillos

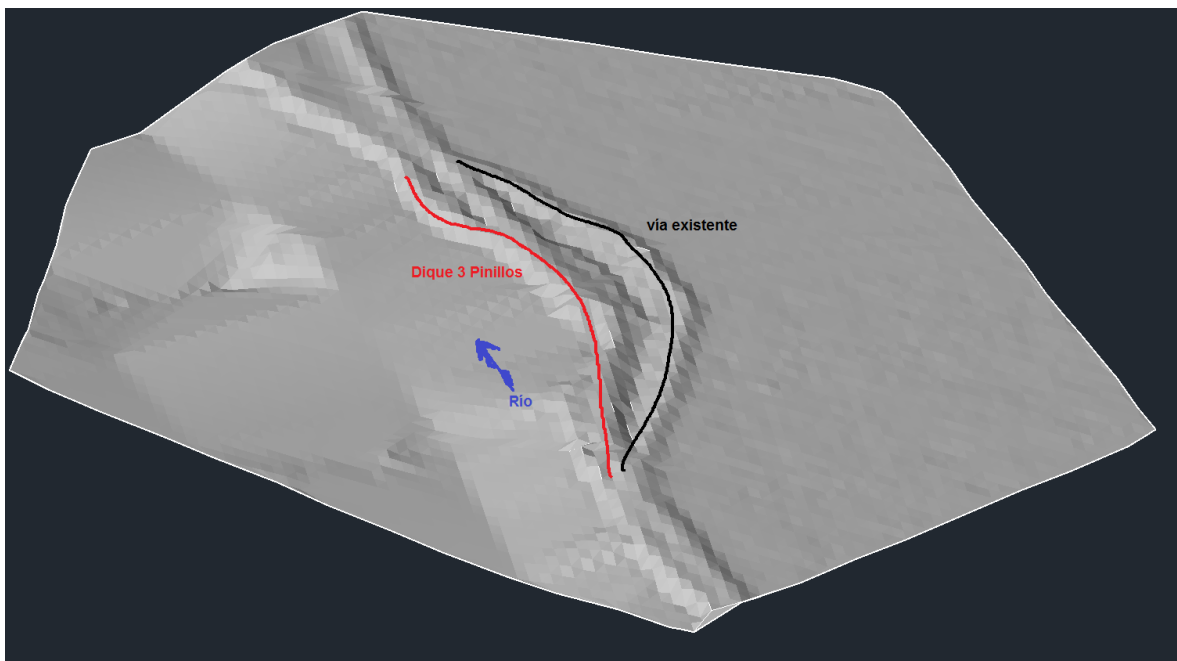


Figura 5-2. Alineamiento dique 3 Pinillos y alineamiento vía

Los criterios utilizados para realizar la caracterización geométrica del terraplén de la vía existente y definir diferentes zonas consistió en los siguiente:

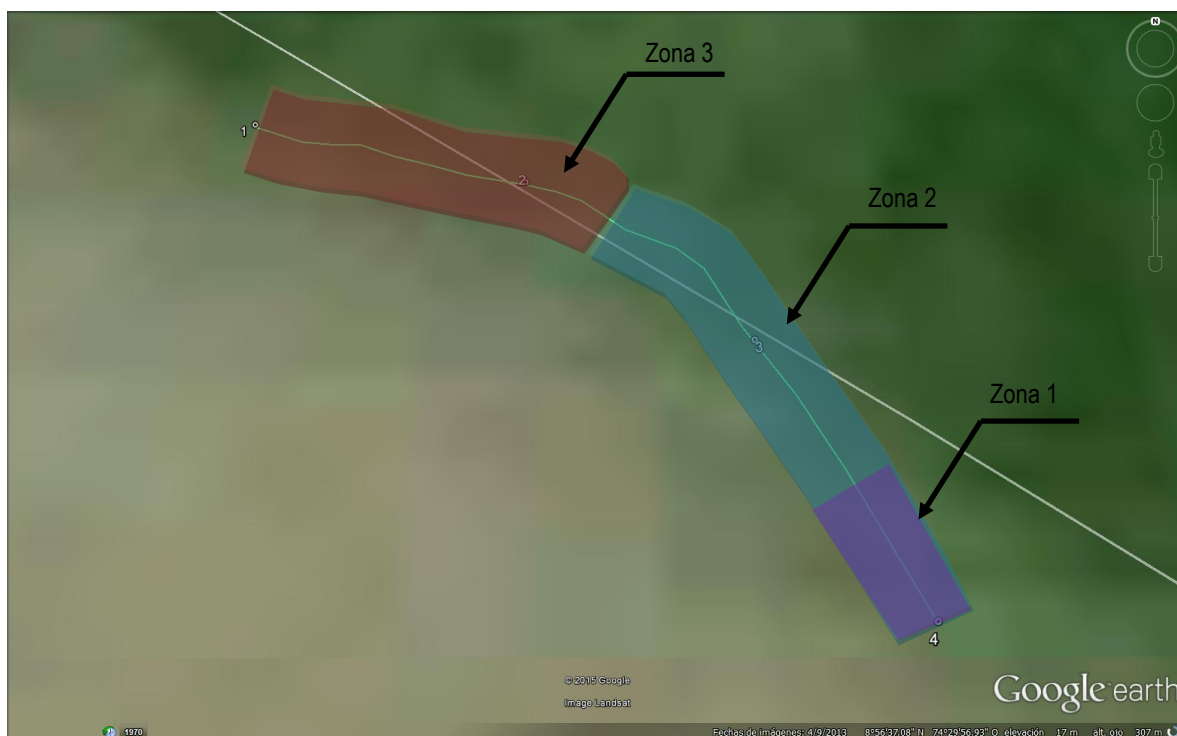
Una zona fue diferencia de otra en términos de geometría si la altura promedio de la estructura cambia en cerca de un metro (1.0 m), es decir si en un tramo del terraplén de la vía tiene una altura promedio de 1,0 m (entre la cresta y la superficie del terreno natural) y posteriormente este pasa a tener una altura promedio de 2,0 m, se generó una zona adicional. De manera similar si la inclinación de los taludes varió en aproximadamente una unidad horizontal en promedio en alguna de sus caras, se generó una zona adicional. Por ejemplo si el talud aguas arriba del terraplén tiene una pendiente aproximada de 2.0 H:1V y pasa a tener una pendiente de 3.0H:1V, se generó un cambio de zona. Es importante aclarar que para la realización de las mediciones nombradas anteriormente, los ingenieros encargados de ejecutar la inspección de campo usaron elementos que se tuvieran a la mano (por ejemplo; una persona podía usarse como referencia acercándose tanto como pudiese al cuerpo del terraplén y utilizar su estatura, para basarse en ella de

tal manera que fuese práctico y fácil calcular cuántos centímetros de más o de menos presentaba la estructura para darle una medida) esto se realizó con el fin tener una idea estimada de las medidas del este.

Algunas dimensiones de la estructura y características de su composición fueron verificadas durante la visita de inspección. Esta información, que permitió hacer una descripción preliminar de la estructura, es cruzada posteriormente contra levantamientos topográficos.

Respecto a las características y estado del terraplén, se generaron cambios de zona en puntos donde este pasa de presentar protección en las caras (por ejemplo por medio de vegetación natural que ayudara a evitar la erosión cuando hay flujo de agua) a no presentar protección de ningún tipo de vegetación o que cambiaran los materiales de protección. De la misma manera si se presentaron cambios significativos en el material de conformación del terraplén, en las condiciones de la cresta, en su cercanía con cuerpos de aguas o en el estado de sus taludes se presentó un cambio de zona.

Con base en la información recolectada durante la visita y en los criterios descritos anteriormente, se generó una zonificación del terraplén. El terraplén se dividió en tres (3) zonas de acuerdo a sus dimensiones, ubicación, materiales de composición y/o eventos encontrados en su trazado, véase Figura 5-3. En la Tabla 5-1, se presenta un resumen de la zonificación y en las secciones a continuación se hace una descripción de cada una de las zonas.



**Figura 5-3. Vista en planta del trazado del terraplén de la vía, donde se presenta la división por zonas hecha con base en la visita de inspección y de la información recolectada en campo.**

**Tabla 5-1. Resumen de la zonificación geométrica del terraplén.**

Zona	Abscisa inicio	Abscisa fin	Longitud (m)	Cara aguas arriba		Cara aguas abajo	
				Altura	Pendiente Talud	Altura	Pendiente Talud
Zona 1	k0+000	k0+040	40,00	3,0	2,5	1,7	4,0
Zona 2	k0+040	k0+180	140,00	3,0	2,5	1,7	3,0



Zona	Abscisa inicio	Abscisa fin	Longitud (m)	Cara aguas arriba		Cara aguas abajo	
				Altura	Pendiente Talud	Altura	Pendiente Talud
Zona 3	k0+180	k0+294.1	114,10	2,0	2,5	1,7	4,0

## 5.1 DESCRIPCIÓN DE ZONAS

A continuación se describen cada una de las zonas del terraplén.

### 5.1.1 Zona 1 (Abs. K0+000 – K0+040)

#### 5.1.1.1 Geometría y características generales del terraplén

En esta zona el terraplén se encuentra conformado por una estructura en suelo compactado. Tiene una altura promedio de 2.00 m aproximadamente, sin embargo su altura oscila y puede estar entre 1.7 m en la cara aguas abajo y 3.0 m en la cara aguas arriba.

Las caras del terraplén tienen pendientes que de 2.5H:1V en la cara aguas arriba y 4.0H:1V en la cara aguas abajo y presentan una protección con vegetación de apariencia natural (no sembrada durante la construcción del terraplén para protección de las caras) de baja a media altura, véase Tabla 5-1 y **Figura 5-4**.

La cresta del terraplén tiene un ancho aproximado entre 3.0 m y 4.0 m y no presenta bombeo. No se encuentra en los extremos de la cresta pequeñas cunetas conformadas, más bien se encuentra vegetación a ambos lados de la cresta, la cual protege a los taludes de la erosión.

#### 5.1.1.2 Eventos, accidentes y descripción del estado del terraplén

En esta zona no se evidencia erosión por aguas de escorrentía en ninguna de sus caras ni acumulación de material transportado por escorrentía. La protección en la cara aguas arriba aguas abajo presenta vegetación media. Véase **Figura 5-4**.

#### 5.1.1.3 Composición de la estructura y de su fundación

El terraplén está conformado en este punto por materiales cohesivos compactados, que serán descritos en detalle en el Capítulo 6. Estos materiales son de préstamo lateral, según lo sugiere parte de la información de referencia suministrada por el FONDO ADAPTACIÓN y por pobladores de la zona. Lo anterior puede deducirse debido a que la apariencia del material obtenido en el cuerpo del terraplén es similar a la de los depósitos aluviales que se encuentra en los primeros metros del suelo de fundación en la zona.

El material cohesivo que conforma el cuerpo del terraplén en este punto es una arcilla de color marrón. Las propiedades índices de este tipo de materiales y sus parámetros geomecánicos se presentaron en el Capítulo 3 con base en estudios y diseños previos. El cuerpo del terraplén está conformado uniformemente en esta zona por este tipo de material.

La cresta no está cubierta por una capa de rodadura, esta está constituida con el mismo material del cuerpo del terraplén.

El suelo de fundación está conformado de depósitos aluviales de arcillas de colores marrón. Estos materiales se encuentran en su mayoría saturados. La caracterización de estos materiales se presenta con detalle en el Capítulo 6.



**Figura 5-4. Foto de la cresta del terraplén de la vía existente en la Zona 1.**

Se informa que el dique 3 Pinillos en esta zona se encuentra cerca del Río Magdalena y el cual con el paso del tiempo ha ido socavando las paredes de su orilla y avanza hacia la zona del terraplén de la vía, por lo tanto se debe considerar este aspecto para etapas posteriores del proyecto correspondientes a análisis y diseño de alternativas de protección de orilla.

#### **5.1.2 Zona 2 (Abs. K0+040 – K0+180)**

##### **5.1.2.1 Geometría y características generales del terraplén**

En esta zona el terraplén se encuentra conformado por una estructura en suelo compactado. Tiene una altura promedio de 2.00 m aproximadamente, sin embargo su altura oscila y puede estar entre 1.7 m en la cara aguas abajo y 3.0 m en la cara aguas arriba.

Sus caras tienen pendientes que de 2.5H:1V en la cara aguas arriba y 3.0H:1V en la cara aguas abajo y presentan una protección con vegetación de apariencia natural (no sembrada durante la construcción del terraplén para protección de las caras) de baja a media altura, véase Tabla 5-1 y **Figura 5-5**.

La cresta tiene un ancho aproximado entre 3.0 m y 4.0 m y no presenta bombeo. No se encuentra en los extremos de la cresta pequeñas cunetas conformadas, más bien se encuentra vegetación a ambos lados de la cresta, la cual protege a los taludes de la erosión.

#### 5.1.2.2 Eventos, accidentes y descripción del estado del dique y del terraplén de la vía

En esta zona del terraplén no se evidencia erosión por aguas de escorrentía en ninguna de sus caras ni acumulación de material transportado por escorrentía. La protección en la cara aguas arriba aguas abajo presenta vegetación media. Véase **Figura 5-5**.

Paralelo a este tramo del terraplén se encuentra un tramo del dique 3 Pinillos en un estado muy deteriorado y en cual las crecientes del río socavaron gran parte de su cuerpo (Véase **Figura 5-5**). Al costado izquierdo del dique se encuentra el Río Magdalena.



**Figura 5-5. Foto del dique 3 Pinillos en la Zona 1 y su cercanía al Río Magdalena.**

En algunos puntos de esta zona se presentan accesos que se encuentran entre el río y el dique de protección y que son utilizados por habitantes de la zona para la captación de agua. En estos puntos se ha deteriorado el sistema de protección con empedrado de la cara aguas arriba. Véase **Figura 5-6**.





**Figura 5-6. Foto del terraplén en la Zona 1 (cara aguas arriba) y pasos de acceso al Rio Magdalena para captación de agua.**

#### 5.1.2.3 Composición de la estructura y de su fundación

El terraplén está conformado en este punto por materiales cohesivos compactados, que serán descritos en detalle en el Capítulo 6. Estos materiales son de préstamo lateral, según lo sugiere parte de la información de referencia suministrada por el FONDO ADAPTACIÓN y por pobladores de la zona. Lo anterior puede deducirse debido a que la apariencia del material obtenido en el cuerpo del dique es similar a la de los depósitos aluviales que se encuentra en los primeros metros del suelo de fundación en la zona.

El material cohesivo que conforma el dique en este punto es una arcilla de color marrón. Las propiedades índices de este tipo de materiales y sus parámetros geomecánicos se presentaron en el Capítulo 3 con base en estudios y diseños previos. El cuerpo del terraplén está conformado uniformemente en esta zona por este tipo de material.

La cresta del terraplén no está cubierta por una capa de rodadura, esta está constituida con el mismo material del cuerpo del dique.

El suelo de fundación está conformado de depósitos aluviales de arcillas de colores marrón. Estos materiales se encuentran en su mayoría saturados. La caracterización de estos materiales se presenta con detalle en el Capítulo 6.



**Figura 5-7. Foto de la cresta del terraplén de la vía en la Zona 2.**

Se informa que el dique 3 Pinillos en esta zona se encuentra cerca del Río Magdalena y el cual con el paso del tiempo ha ido socavando las paredes de su orilla y avanza hacia la zona del terraplén, por lo tanto se debe considerar este aspecto para etapas posteriores del proyecto correspondientes a análisis y diseño de alternativas de protección de orilla.

### **5.1.3 Zona 3 (Abs. K0+180 – K0+294.1)**

#### **5.1.3.1 Geometría y características generales del terraplén**

En esta zona el terraplén se encuentra conformado por una estructura en suelo compactado. En esta zona el dique tiene una altura promedio de 2.0 m aproximadamente, sin embargo su altura oscila y puede estar entre 1.7 m en la cara aguas abajo y 2.0 m en la cara aguas arriba.

Las caras tienen pendientes que de 2.5H:1V en la cara aguas arriba y 3.0H:1V en la cara aguas abajo y presentan una protección con vegetación de apariencia natural (no sembrada durante la construcción del terraplén para protección de las caras) de baja a media altura. Véase Figura 5-8.

La cresta tiene un ancho aproximado entre 3.0 m y 4.0 m y no presenta bombeo. No se encuentra en los extremos de la cresta pequeñas cunetas conformadas, más bien se encuentra vegetación a ambos lados de la cresta, la cual protege a los taludes de la erosión.

#### **5.1.3.2 Eventos, accidentes y descripción del estado del terraplén**

En esta zona no se evidencia erosión por aguas de escorrentía en ninguna de sus caras ni acumulación de material transportado por escorrentía. La protección en la cara aguas arriba aguas abajo presenta vegetación media. Véase Figura 5-8.

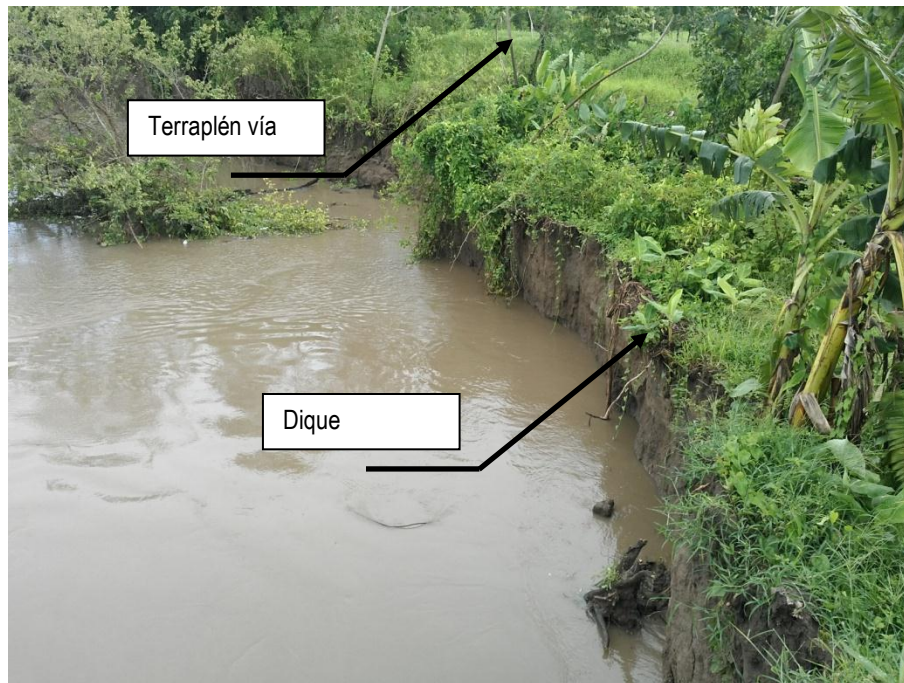
### 5.1.3.3 Composición de la estructura y de su fundación

El terraplén está conformado en este punto por materiales cohesivos compactados, que serán descritos en detalle en el Capítulo 6. Estos materiales son de préstamo lateral, según lo sugiere parte de la información de referencia suministrada por el FONDO ADAPTACIÓN y por pobladores de la zona. Lo anterior puede deducirse debido a que la apariencia del material obtenido en el cuerpo del terraplén es similar a la de los depósitos aluviales que se encuentra en los primeros metros del suelo de fundación en la zona.

El material cohesivo que conforma el terraplén es una arcilla de color marrón. Las propiedades índices de este tipo de materiales y sus parámetros geomecánicos se presentaron en el Capítulo 3 con base en estudios y diseños previos. El cuerpo está conformado uniformemente en esta zona por este tipo de material.

La cresta no está cubierta por una capa de rodadura, esta está constituida con el mismo material del cuerpo del dique.

El suelo de fundación está conformado de depósitos aluviales de arcillas de colores marrón. Estos materiales se encuentran en su mayoría saturados. La caracterización de estos materiales se presenta con detalle en el Capítulo 6.



**Figura 5-8. Foto de la cresta del dique 3 Pinillos en la Zona 3.**

Se informa que el dique Pinillos en esta zona se encuentra cerca del Río Magdalena y el cual con el paso del tiempo ha ido socavando las paredes de su orilla y avanza hacia la zona del terraplén, por lo tanto se debe considerar este aspecto para etapas posteriores del proyecto correspondientes a análisis y diseño de alternativas de protección de orilla.



## 6. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En este capítulo se presenta una descripción de los materiales que hacen parte del cuerpo del terraplén y de su suelo de fundación. Esta descripción es posible debido a la investigación geotécnica que se hizo en la zona que constituyó la extracción de muestras de suelo y la ejecución de ensayos SPT (Norma ASTM D 1586-11, de laboratorio e in-situ, entre otros. A continuación se listan los principales materiales encontrados, su clasificación y caracterización. En el Capítulo 5 durante la descripción geométrica de la estructura, se indicó que materiales se encuentran en cada zona del terraplén.

### 6.1 EXPLORACIONES GEOTÉCNICAS

En la Tabla 6-1 se resumen las perforaciones con recobro y ensayos SPT respectivamente realizados en la zona del terraplén. En el Anexo B se presenta una vista en planta de la ubicación de estas perforaciones con recobro y ensayos SPT.

Por medio de las perforaciones con recobro, tres (3) en total, se obtuvieron muestras alteradas para la ejecución de ensayos de laboratorio. A lo largo de estas perforaciones se realizaron también ensayos continuos de SPT cada 50.0 cm.

Los ensayos SPT se ejecutaron sobre el trazado de la estructura de interés (al inicio, en una zona intermedia y al final del tramo del dique 3 Pinillos. La Perforación 1 y 3 coinciden con el terraplén de la vía, la perforación 2 está ubicada sobre el alineamiento del dique por lo tanto distanciada del terraplén de la vía) obteniéndose lecturas de resistencia a la penetración en termino de número de golpes/pie. Esta lectura continua de número de golpes/pie del suelo permite hacer una interpretación confiable de las características de los materiales que conforman el cuerpo del dique y del suelo de fundación.

**Tabla 6-1. Resumen de perforaciones con recobro ejecutados sobre el dique Pinillos.**

Perforación	Abscisa (m)	Profundidad (m)	Coordenadas		profundidad del Nivel Freático (m)
			NORTE	ESTE	
PT-DP-1	0+000.0	15.0	1 480 900.56	953 527.36	6.0
PT-DP-2	0+066.0	10.0	1 480 766.59	953 643.78	4.0
PT-DP-3	0+278.0	15.0	1 480 734.42	953 725.13	5.0

La Tabla 6-2 presentada a continuación incluye las máquinas usadas para cada uno de las perforaciones ejecutadas en el tramo del dique 3 Pinillos. Esta tabla contiene además la fecha de ejecución de las exploraciones. Una descripción de los equipos empleados para adelantar la campaña de exploración geotécnica del proyecto se presenta en el documento de Metodología y Plan de Trabajo [25].

**Tabla 6-2. Equipos empleados para la ejecución de las exploraciones en el tramo de estudio.**

Equipo	Perforación	Fecha de ejecución	
		Inicio	Fin
Equipo de perforación manual	PT-DP-1	28 de Mayo de 2015	28 de Mayo de 2015
	PT-DP-2	29 de Mayo de 2015	29 de Mayo de 2015
	PT-DP-3	29 de Mayo de 2015	30 de Mayo de 2015

## 6.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Para la clasificación y caracterización de los materiales extraídos de las exploraciones hechas en la zona se ejecutaron una serie de ensayos de laboratorio. Los resultados de estos ensayos se compararon con la información obtenida mediante la interpretación de los ensayos SPT hechos en la zona.

En la Tabla 6-3 se presenta un resumen de los ensayos de laboratorio ejecutados sobre las muestras extraídas de la zona y en el Anexo E se presentan en detalle los registros de los resultados de los ensayos. Los resultados de los ensayos ejecutados por cada perforación se resumen en el Anexo D.

**Tabla 6-3. Resumen de los ensayos de laboratorio ejecutados sobre las muestras extraídas de las exploraciones hechas en la zona del dique.**

Perforación	Humedad	Granulometría	Límites de Atterberg	Peso unitario	peso unitario por desplazamiento	Materia orgánica	Gravedad específica	Corte directo
PT-DP-1	16	5	5	1	4	2	1	2
PT-DP-2	16	4	4	1	4	1	1	-
PT-DP-3	15	4	4	1	2	1	1	-
Totales realizados	47	13	13	3	10	4	3	2

En la Tabla 6-4 se presenta un listado de los ensayos y las normas empleadas para la ejecución de los ensayos de laboratorio con fines de caracterización de los materiales del cuerpo del dique y del suelo de fundación.

**Tabla 6-4. Listado de normas empleadas en la ejecución de ensayos de laboratorio.**

Ensayo	Normativa		
	ASTM	NTC	INVIAS
Humedad natural	D2216	1495	I.N.V.E - 122-07
Tamizado por granulometría	D6913	1522	I.N.V.E - 123-07
Límites de consistencia (LL y LP)	D4318	4630	I.N.V.E - 125-07
Gravedad específica			I.N.V.E - 128-07
Contenido de materia orgánica	D2974	5403	I.N.V.E - 121-07

## 6.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO

Los suelos de la zona están compuestos en su mayoría por depósitos aluviales estratificados de arcilla, limo y arena de grano fino. Los suelos materiales de naturaleza cohesiva abundan en la superficie, y tienden a tornarse más granulares con la profundidad. Se identificaron por medio de la campaña de exploración geotécnica principalmente los materiales o grupos de materiales que se describen a continuación.

En todas las zonas pudo reconocerse claramente la estructura del dique y el material de fundación del sitio. Al revisar las características del material de conformación del dique, en las exploraciones donde este pudo identificarse, se encontró que su cuerpo está compuesto de arcillas de baja plasticidad en toda su longitud.

Como se mencionó anteriormente, además de exploraciones con recobro se ejecutaron ensayos SPT. Los registros de perforaciones con recobro se presentan en el ANEXO E. Con la interpretación de los ensayos SPT ejecutados en la zona se generó la estratificación de los materiales que constituyen su fundación. Los SPT muestran en su mayoría capas superficiales de arcillas (estructura del dique), seguidas de capas de arcillas firme, limos y arenas limosas correspondientes a los suelos aluviales de fundación.

A continuación se describen los materiales encontrados en la campaña de exploración llevada a cabo en la zona.

### 6.3.1 Limos arenosos y arcillosos de baja plasticidad (Estructura del dique)

Las dos exploraciones con recobro ejecutadas sobre el cuerpo del dique, muestran que éste está conformado por arcillas, de color anaranjado (véase Figura 6-1) y con un contenido de arena que oscila entre 15.08% y 16.57%. El espesor de este material es de 1.50m registrado con la perforación 1 y de 2.00m en la perforación 3. Este material puede clasificarse según el sistema unificado de clasificación de suelos, S.U.C.S. como CL (arcillas de baja plasticidad), como se puede observar en la carta de plasticidad de Casagrande que se presenta en la Figura 6-2. En esta carta se plasmaron los resultados de los ensayos de límite de consistencia realizados sobre tres (3) muestras recuperadas de este material. El detalle de los resultados de estos ensayos se presenta en los Anexos D y F.

El material que conforma el cuerpo del dique tiene una consistencia que va de medio firme a firme (véase Tabla 6-5) como lo indican los resultados de los ensayos SPT ejecutados sobre este material, que arrojan valores de N60 que oscilan entre 5 y 15 golpes (véase Figura 6-3), con un promedio de 11goples/pie. La consistencia del material del cuerpo del dique es predominantemente firme.

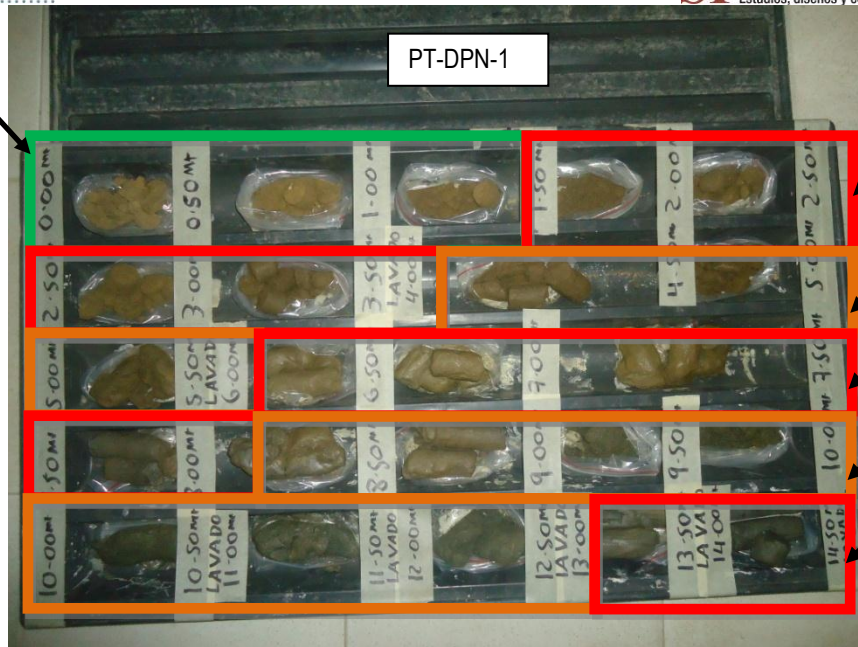
Un gráfico con el número de golpes contra la profundidad para cada una de las exploraciones con recobro se presenta en el Anexo E.

**Tabla 6-5. Descripción de la consistencia de materiales finos con base en el valor de N60 y de la resistencia al corte no drenado del material (Terzaghi, Peck & Mesri. 3ra Edición, 1996 - Tabla 12.2) .**

N60	Su (kPa)	Descripción
0 - 2	0.0 - 12.5	Muy blanda
2 - 4	12.5 - 25.0	Blanda
4 - 8	25.0 - 50.0	Medio firme
8 - 15	50.0 - 100.0	Firme
15 - 30	100.0 - 200.0	Muy firme
30 - 45	200.0 - 300.0	dura
> 45	> 300.0	Muy dura

El material limoso que conforma el dique puede apreciarse en las exploraciones con recobro: PT-DP-1 y PT-DP-3. La perforación PT-DP-02 fue ejecutada en un sitio donde no hay estructura de dique (terreno natural), a una distancia de 58.50 m del eje del terraplén de la vía existente, por lo que en estas no se evidencia el material del dique. En este punto no existe estructura del dique en su totalidad debido a que fue socavada por la creciente del río Magdalena. La perforación se realizó entre la sección socavada de la estructura del dique antiguo y el terraplén de la vía.

Cuerpo del dique  
Arcilla de baja  
plasticidad



Arcilla de baja  
plasticidad 1

Arena limosa 1

Arcilla de baja  
plasticidad 2

Arena limosa 2

Limo de baja  
plasticidad 2

Figura 6-1. Foto de material recobrado en la perforación PT-DPN-1 ejecutada en la zona de estudio.

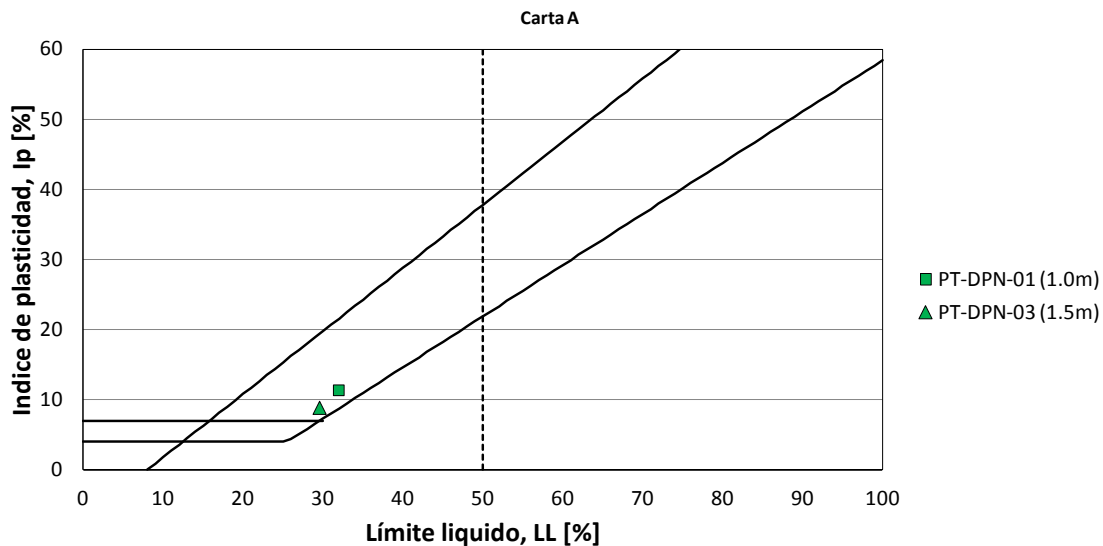


Figura 6-2. Carta de plasticidad de Casagrande para el material limo arenoso y limo arcilloso que conforma el cuerpo del dique.

El cuerpo del dique se encuentra seco o presenta valores bajos de humedad. En la Figura 6-4 se puede apreciar como la humedad del material que se encuentra en alrededor del 20%, está cerca al límite plástico y en algunos casos por debajo de este valor, que se encuentra en 19 y 28%. Se determinó que el límite de contracción de este material es de alrededor de 23%, que es mayor que la humedad promedio del material en su condición actual. En el Anexo E se encuentra para cada una de las perforaciones un gráfico de la humedad contra la profundidad donde se presentan también los límites de consistencia del material.

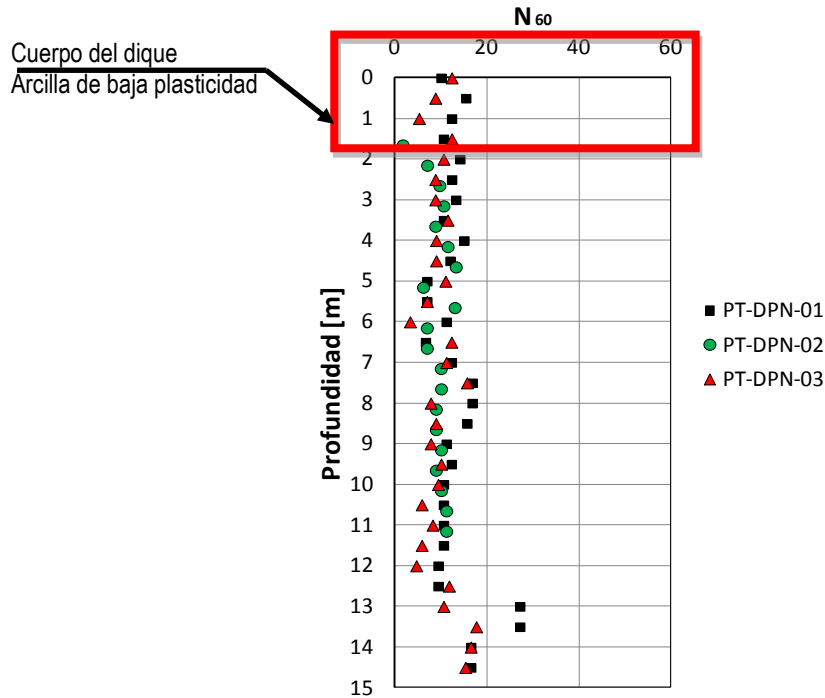


Figura 6-3. Esquema del número de golpes N corregido de ensayo SPT contra la profundidad, para las tres perforaciones ejecutadas en la zona de estudio.

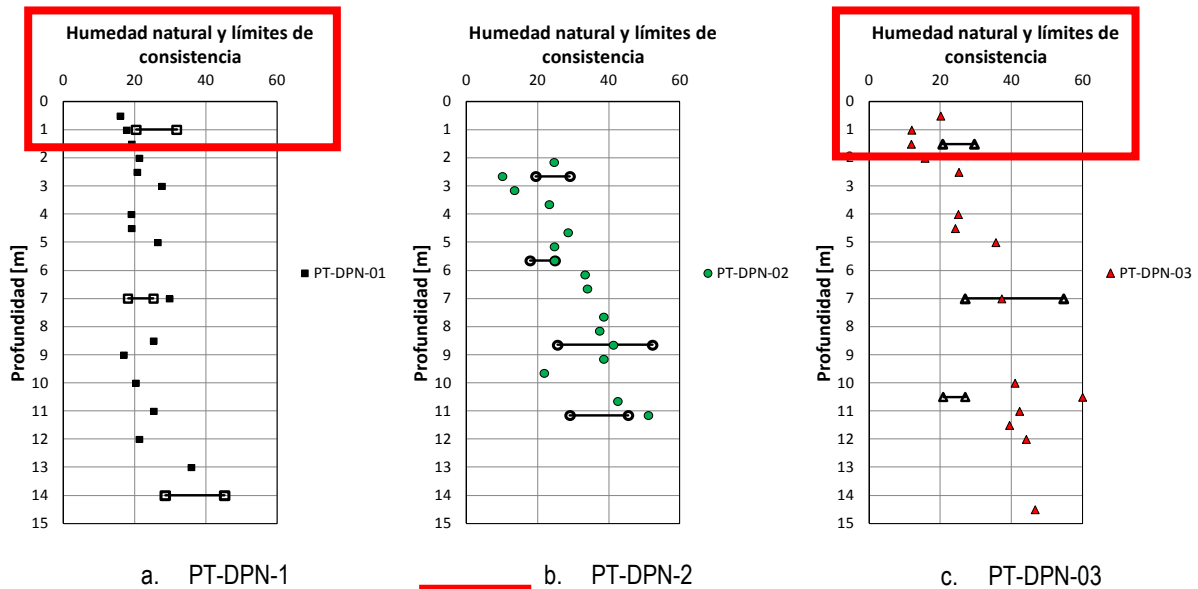


Figura 6-4. Esquema de la humedad y límites de consistencia del material contra la profundidad para las perforaciones PT-DPN-1, PT-DPN-2 y PT-DPN-3.

Se hizo un ensayo para determinar el contenido de materia orgánica del material del cuerpo del dique y se encontró que este tiene trazas de materia orgánica de 6,74%. Con este contenido de materia orgánica puede clasificarse este material como una arcilla con materia orgánica según la clasificación del S.U.C.S, que se presenta en la Tabla 6-6.

**Tabla 6-6. Criterio de clasificación de los suelos según su contenido de materia orgánica de la USCS.**

Clasificación	Contenido de materia orgánica (%)
Suelo altamente orgánico (turba)	> 30
Suelo orgánico	15 - 30
Suelo mineral con materia orgánica	03 - 15
Suelo mineral	< 3

**Tabla 6-7. Requisitos del contenido de materia orgánica de los suelos que componen el cuerpo de un terraplén.**

Clasificación	Contenido de materia orgánica (%)
Suelos seleccionados	< 0.2
Suelos Adecuados	< 1
Suelos Tolerables	< 2
No adecuados	> 2

El peso unitario de este material se calculó por medio del ensayo de peso unitario por desplazamiento. En la Tabla 6-8 se presenta un resumen de los ensayos de peso unitario por desplazamiento. Se obtiene un peso unitario medio de 18 kN/m<sup>3</sup>, que se considera adecuado para este tipo de material fino.

**Tabla 6-8. Resumen de resultados de los ensayos de peso unitario por desplazamiento para el material del cuerpo del dique.**

Perforación	Profundidad (m)	Peso unitario por desplazamiento (kN/m <sup>3</sup> )
PT-DP-1	2,00 - 2,50	17.95

Con los resultados de las perforaciones PT-DPN-1 y PT-DPN-3 se pudo verificar efectivamente la clasificación de los materiales que conforman el cuerpo del dique, además fue posible comprobar que la sección se conforma uniformemente (no está conformado de núcleos y espaldones). En la Tabla 6-9 se observan el resultados del ensayo de granulometría en la PT-DPN-1 que presenta resultados similares a las granulometría obtenidas en el ensayo de la perforación PT-DPN-3 (Véase Tabla 6-10)

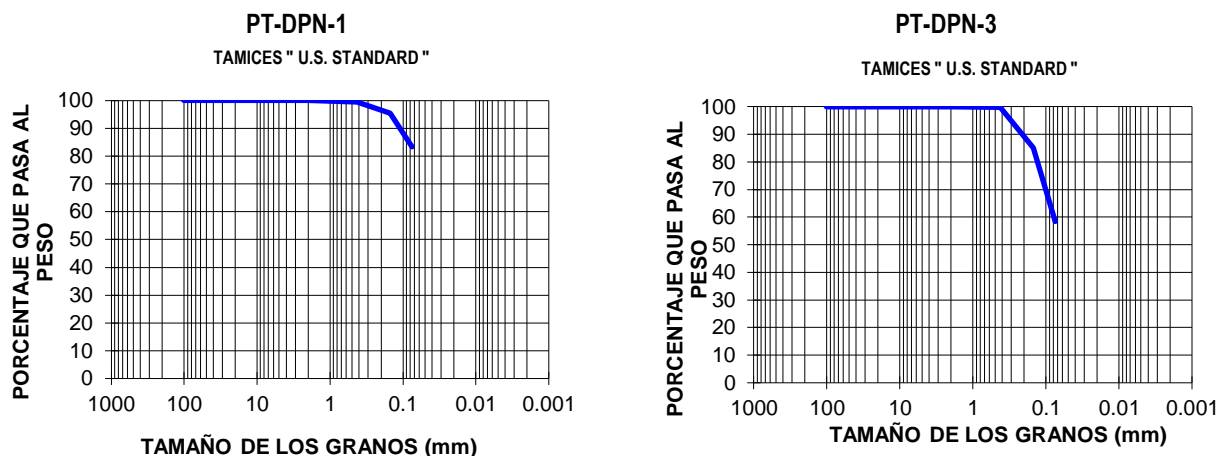
**Tabla 6-9. Resultados del ensayo de granulometría PT-DPN-1.**

Perforación con recobro (Cuerpo del dique) Abs. (0+000)	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% Pasa)			
	Prof. (m)	T - N°4 (%)	T - N°40 (%)	T - N°200 (%)
PT-DPN-1	1.00	100	99.38	83.43



**Tabla 6-10. Resultados del ensayo de granulometría entre los suelos extraídos con perforaciones en el dique.**

Perforación con recobro (Cuerpo del dique) Abs. (0+278)	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% Pasa)			
	Prof. (m)	T - N°4 (%)	T - N°40 (%)	T - N°200 (%)
PT-DPN-3	1.50	100	99.68	84.92



**Figura 6-5. Curvas granulométricas obtenidas de los ensayos de laboratorio**

Al observar las curvas granulométricas presentadas en la Figura 6-5 se puede destacar que son similares entre estas dos exploraciones que fueron realizadas en el inicio (PT-DP-1) y al final (PT-DP-3) del abscisado, lo que comprueba que el cuerpo del dique se encuentra conformada por material uniforme en su extensión.

Lo mismo se puede comprobar a través de las tomografías que son presentadas en el Anexo I. A manera de ejemplo en la Figura 6-7 donde se aprecia que el dique tiene una resistividad general entre 70 ohm y 100 ohm como se observa en los primeros 2.0 m de la tomografía mostrada. Esto corresponde al material del dique el cual se observa uniformemente y sin cambios en la resistividad considerables. Dado que el nivel freático se encuentra por debajo del dique, se puede considerar que esta resistividad pertenece a un material arcilloso compactado el cual se extiende a lo largo del dique de manera uniforme y coincide con la descripción presentada previamente para este estrato. El nivel freático fue registrado con estas tomografía a partir de los 3.0 m

En la Figura 6-6 se presenta la localización de las tomografías realizadas. Cada tomografía tiene una longitud de 100m y se realizaron al inicio y al final del tramo del Dique.



Figura 6-6. Localización tomografía eléctrica en sentido longitudinal al terraplén de la vía existente.

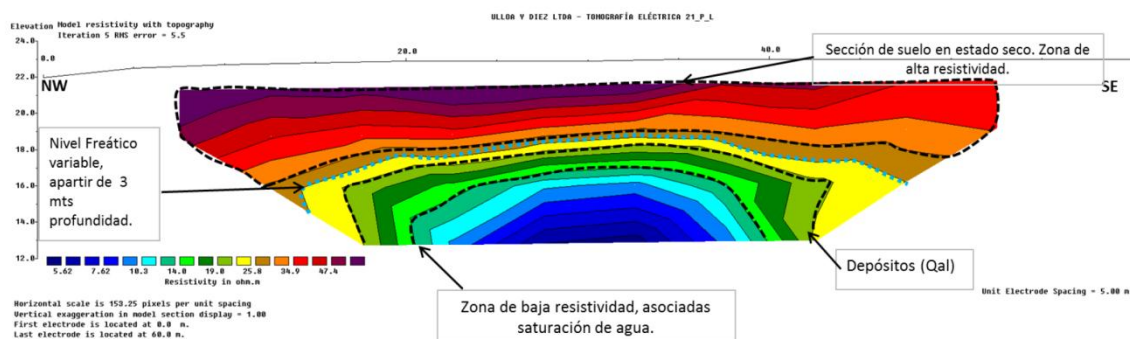


Figura 37. Tomografía Eléctrica 21\_(P)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4

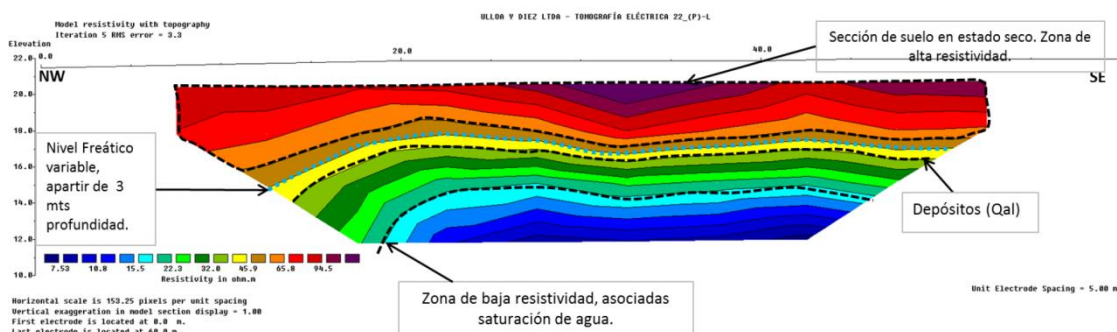


Figura 38. Tomografía Eléctrica 22\_(P)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4

Figura 6-7. Tomografía eléctrica en sentido longitudinal al terraplén de la vía existente.

A continuación se presenta la descripción geotécnica de los perfiles de fundación típicos encontrados con las tres perforaciones ejecutadas. En general se identificaron dos perfiles típicos:

## Perfil de fundación No 2

Un primer perfil, constituido superficialmente por un estrato de arcillas de baja plasticidad con un espesor aproximado de 2.0m, apoyado sobre estrato de arena limosa de 2.0m de espesor. Por debajo del nivel de arena se encuentra un estrato de arcilla de baja plasticidad (espesor = 3.0m) el cual suprayace a un estrato de arena limosa de 4.0m de espesor. Finalmente, se encuentra un estrato de limo de baja plasticidad. Este perfil fue registrado con la perforación PT-DP-1 y de ahora en adelante será nombrado como **Perfil de fundación No 2**.

## Perfil de fundación No 1

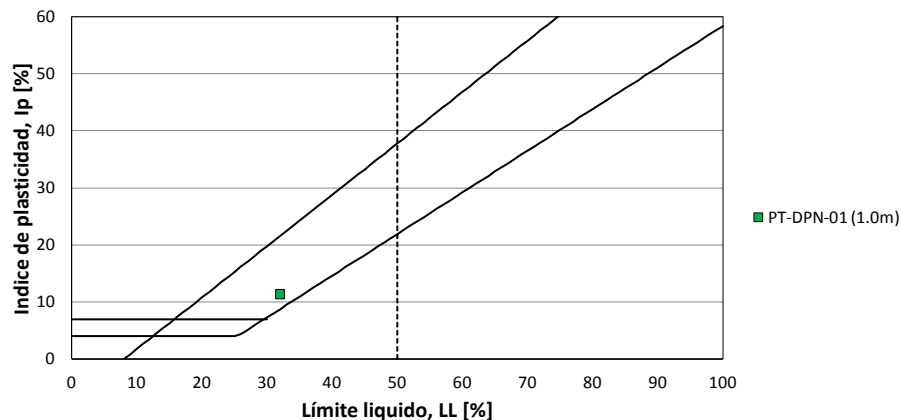
Un segundo perfil, constituido superficialmente por un estrato de arcillas de baja plasticidad con un espesor que varía entre 0.5m y 3.50m, apoyado sobre un estrato de limo de baja plasticidad con espesor variable entre 1.00m y 2.50m. El estrato de limos subyace a un estrato de arcilla de alta plasticidad, el cual tiene un espesor variable entre 5.0m y 5.50m. Subyaciendo al estrato de arcilla de alta plasticidad se encuentra un estrato de limos de baja plasticidad cuyo espesor máximo registrado con la profundidad máxima de las perforaciones fue de 5.0m. Este perfil de fundación fue registrado con las perforaciones PT-DP-2 y PD-DP-3 y de ahora en adelante será nombrado como **Perfil de fundación No 1**.

### 6.3.2 Perfil de fundación No 2

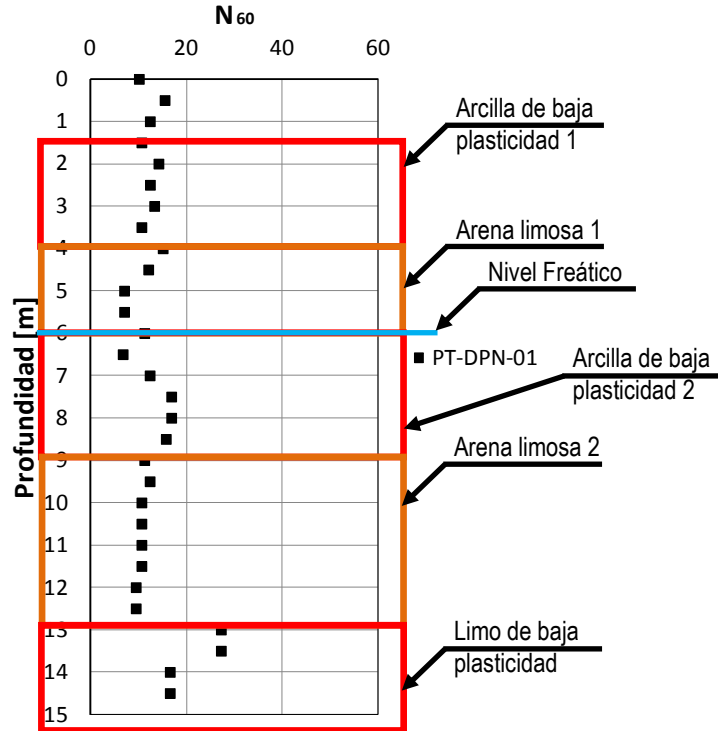
#### 6.3.2.1 Arcillas de baja plasticidad 1 (Depósito aluvial de fundación)

El estrato superficial de la fundación del dique está compuesto por arcilla de baja plasticidad. Esta arcilla se presentan en colores marrón claro, como se puede apreciar en la Figura 6-1. Este material cuyo espesor registrado con la perforación PT-DP-1 es de 2.0 m, se encontró entre 1.50m y 3.50m de profundidad. Este material clasifica como CL según el sistema unificado de clasificación de suelos, S.U.C.S. (véase la Figura 6-8).

En esta zona del dique la arcilla de fundación presentan una consistencia firme (véase Tabla 6-5) con valores promedio de N60 obtenidos con el ensayo de SPT de 12 golpes, y que van de 11 hasta 14 golpes. En la Figura 6-9 se presenta un gráfico del valor de N60 contra la profundidad para la perforación PT-DPN-1, donde se aprecia que la arcilla en la fundación tienen una consistencia firme. En el Anexo D se presenta un resumen de los resultados de los ensayos SPT para las exploraciones ejecutadas en esta zona del dique.



**Figura 6-8. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de arcilla de baja plasticidad 1.**

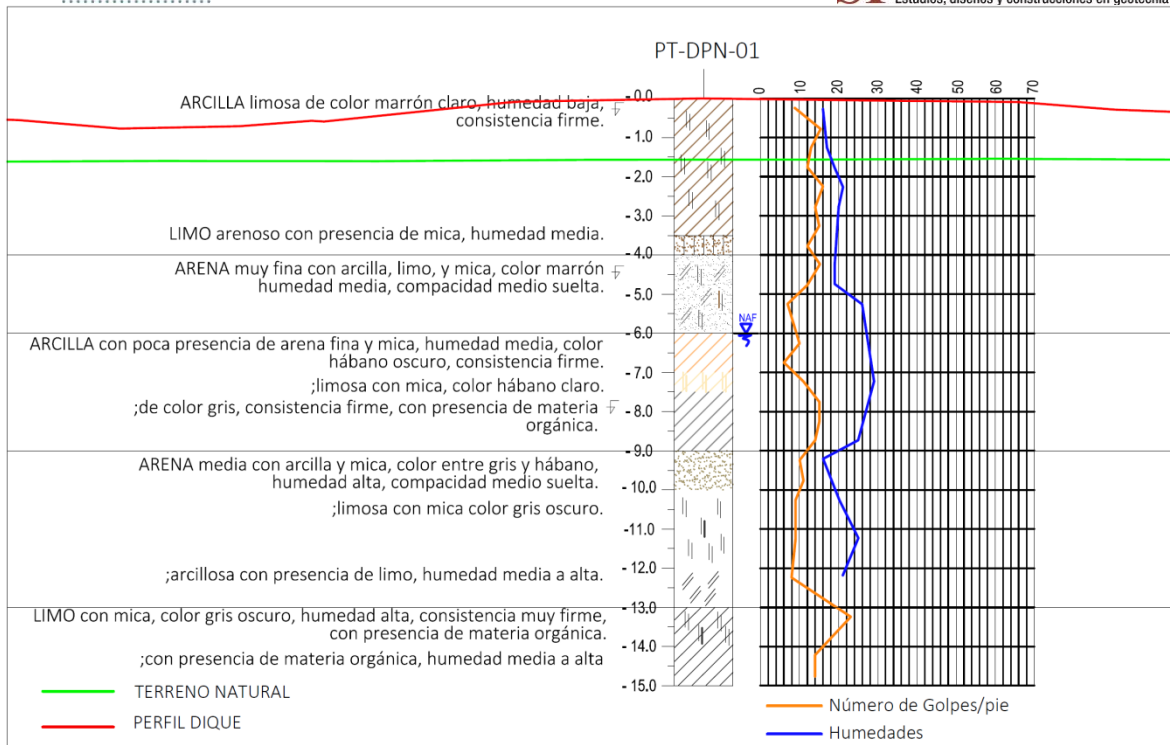


**Figura 6-9. Gráfico de resistencia a la penetración estándar (N60) contra la profundidad arrojado por el ensayo de PT DPN-1, ejecutado en la zona de estudio.**

Debido a que este material presenta una consistencia predominantemente firme, para los análisis de estabilidad, los parámetros geomecánicos del material aluvial fino serán calculados para una condición firme del mismo.

Este material en la fundación se encuentra por encima del nivel freático (véase Figura 6-9), presenta una baja plasticidad (véase Figura 6-8), desconociéndose la sensibilidad que este presenta a los cambios en la humedad debido a que no se tienen resultados de este mismo material para condiciones saturadas. Sin embargo, puede esperarse, que este presente una moderada a alta susceptibilidad si dicho material conserva las mismas características del material de arcilla que se encuentra más profundo (a 7.0m, véase Figura 6-4a), el cual alcanza a desarrollar niveles de humedad por encima de su límite líquido. Esto puede evidenciarse en que el material que se encuentra sobre el nivel freático presenta una humedad por debajo al límite plástico, mientras que el material que se encuentra sumergido presenta una humedad muy alta, y por encima al límite líquido.

En la Figura 6-4 se presenta el gráfico de humedades contra profundidad para la perforación PT-DPN-1, donde también se plasman los límites de consistencia para el material. Como se puede ver en esta figura el material por encima del nivel freático se encuentra seco, mientras que debajo del nivel freático la humedad del material aumenta significativamente y se encuentra por encima del límite líquido.



**Figura 6-10. Perfil estratigráfico del suelo de fundación para la exploración PT-DP-1 realizada en la zona, donde se observa que el estrato aluvial de fundación está por encima del nivel freático.**

Este material es muy susceptible de presentar grietas cuando se presente el proceso de pérdida humedad hasta llegar al estado seco.

Sobre una muestra extraída de este material se hizo un ensayo de peso unitario que arrojó un valor del peso unitario de  $17.95 \text{ kN/m}^3$ , que es un valor adecuado para arcillas de esta naturaleza.

Los ensayos de contenido de materia orgánica realizados sobre las muestras del material, muestran que este tiene trazas de materia orgánica de entre 6.74 y 7.10%. De acuerdo al criterio del S.U.C.S que se presenta en la Tabla 6-6, este material se clasifica como una arcilla de baja plasticidad con materia orgánica.

### 6.3.2.2 Arena limosa de grano fino 1 y 2

Subyaciendo el estrato de arcillas de baja plasticidad se encuentran intercalados, entre niveles de arcillas, dos estratos de arenas limosas de grano fino. Un nivel superior de color marrón (Arena limosa 1, entre 4.0m y 6.0m de profundidad) y otro inferior de color gris (Arena limosa 2, entre 9.0m y 13.0m de profundidad). En la Figura 6-1 se presenta una foto del recobro de la perforación PT-DPN-1, donde se pueden apreciar las arenas limosas del suelo de fundación aluvial.

Los ensayos de penetración estándar SPT ejecutados en las perforaciones donde se encontraron estos materiales aluviales gruesos arrojaron valores de N60 de entre 7 y 15 golpes/pie para el nivel superior de arenas con un valor promedio de 10 golpes/pie, indicando que estas arenas limosas se encuentran de sueltas a medio sueltas, según el criterio que se presenta en la Tabla 6-11. Para el nivel inferior de arenas el valor promedio de N60 es de 11 golpes/pie oscilando entre 9 y 12 golpes/pie, clasificando como una arena de compacidad suelta a medio suelta.

En general los estratos de arena que se encontraron en esta zona del Dique 3 Pinillos se encuentran en un estado de compacidad medio suelta, con valores de N60 promedio de 11 golpes, como se muestra en la Figura 6-9.

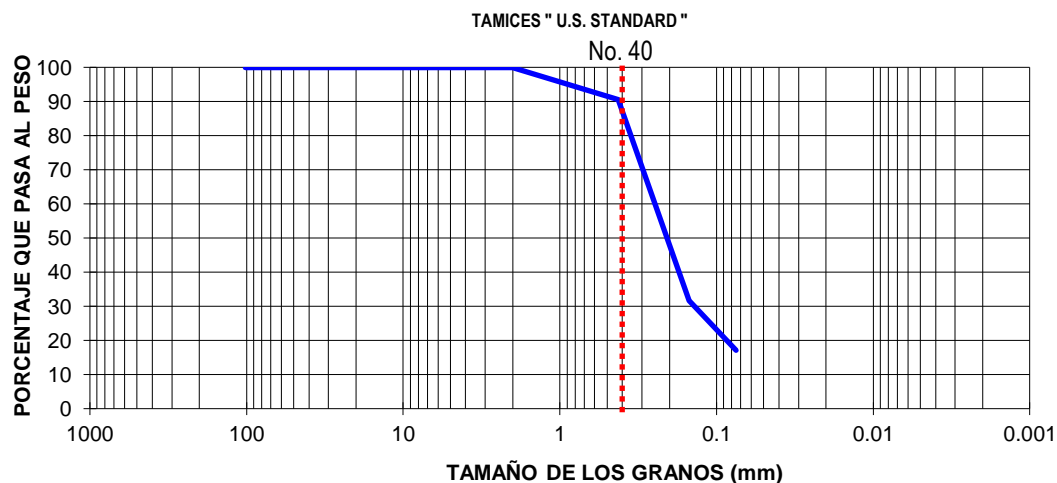


**Tabla 6-11. Criterio para la descripción de la densidad de las arenas con base en el número de golpes/pie corregido del ensayo SPT (Terzaghi, Peck & Mesri. 3ra Edición, 1996 - Tabla 12.1).**

N60 (golpes/pie)	Descripción
0 - 4	Muy suelta
4 - 10	Suelta
10 - 20	Medio suelta
20 - 30	Medio densa
30 - 50	Densa
> 50	Muy densa

Los ensayos de granulometría por tamizado ejecutados sobre muestras de este material arrojaron valores de contenido de finos, que van desde 17.14 a 20.37% y de arenas desde 72.63 a 82.86% por lo que se clasificó a este material como arenas limosas (SM). De acuerdo a la experiencia de Suelos de Ingeniería en proyectos similares, para una mayor seguridad se determinó que el contenido de finos dentro de este material no es suficiente para contemplar que este pueda comportarse como un material cohesivo, por lo que no es pertinente determinar límites de consistencia de su fracción fina o considerar que su comportamiento mecánico estará afectado por cohesión.

Como se puede ver en la Figura 6-11, más del 90% del material pasa el tamiz No. 40, que corresponde al límite superior de las arenas finas. Por lo anterior, las arenas limosas que conforman el aluvial granular del suelo de fundación son clasificadas como de grano fino.



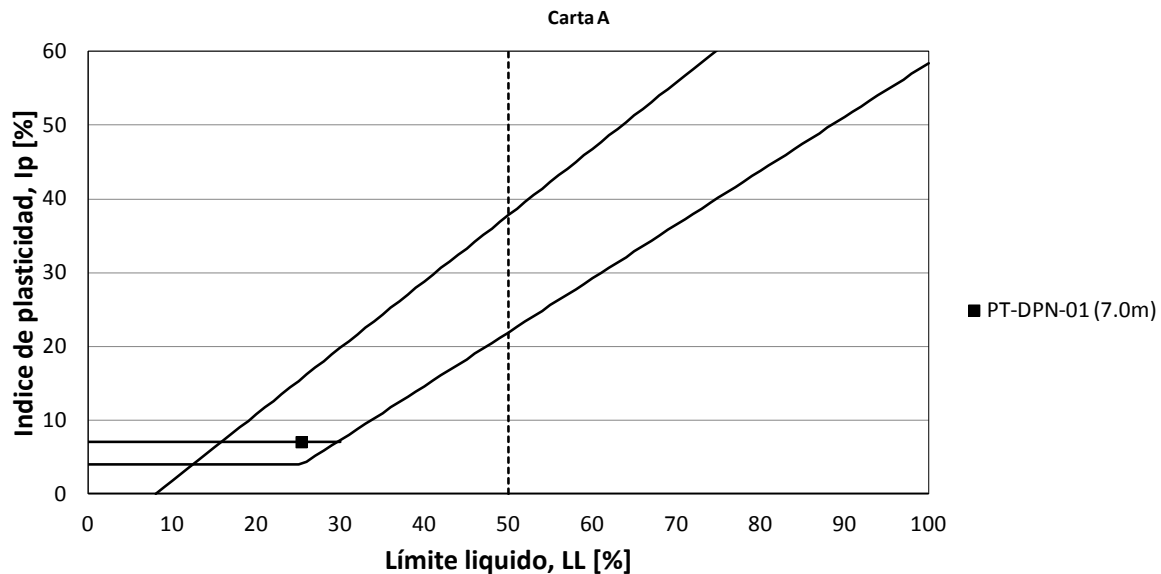
**Figura 6-11. Curva granulométrica para una muestra de arenas extraída de la perforación PT-DPN-13.**

Por encontrarse subyaciendo el material aluvial fino, este material se encuentra sumergido.

#### 6.3.2.3 Arcillas de baja plasticidad 2

Se encontró un estrato de arcilla de baja plasticidad subyaciendo al nivel superior de arena (Arena limosa 1) descrito en el numeral anterior. Esta arcilla se presenta en colores habano a gris, como se puede apreciar en la Figura 6-1. Este material se encuentra en un espesores desde 3.0 m, registrado entre 6.0m y 9.0m de profundidad. Este material aluvial fino puede clasificarse como CL según el sistema unificado de clasificación de suelos, S.U.C.S. (véase la Figura 6-12).

En esta parte del trazado del dique la arcilla presenta una consistencia firme (véase Tabla 6-5) con valores de N60 arrojados por el ensayo de SPT de alrededor de 13 golpes, que van desde 9 hasta 12 golpes. En la Figura 6-9 se presenta un gráfico del valor de N60 contra la profundidad para la perforación PT-DP-1, donde se aprecia que la arcilla tiene una consistencia firme. En el Anexo D se presenta un resumen de los resultados de los ensayos SPT para las exploraciones ejecutadas en esta zona del dique 3 Pinillos.



**Figura 6-12. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de arcillas de baja plasticidad 2.**

Debido a que este material presenta una consistencia predominantemente firme, para los análisis de estabilidad, los parámetros geomecánicos del material aluvial fino serán calculados para una condición firme del mismo.

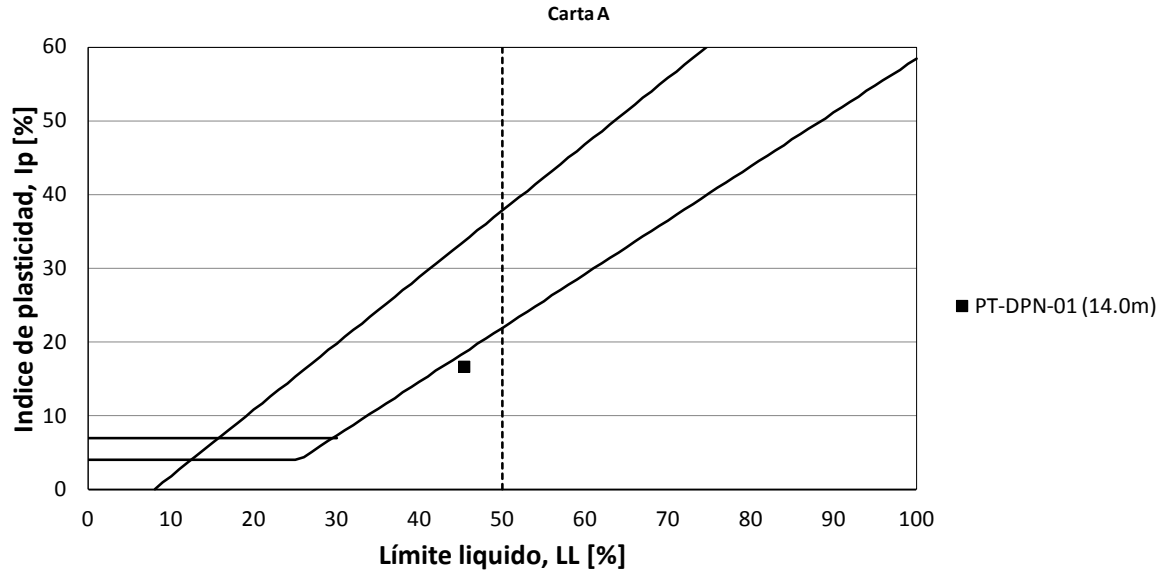
Este material en la fundación se encuentra sumergido (véase Figura 6-9), debido a esto no se esperan cambios sobre sus propiedades diferentes a las que se puedan dar por procesos mecánico. En la Figura 6-4 se presenta el gráfico de humedades contra profundidad para la perforación PT-DPN-1, donde también se plasman los límites de consistencia para el material. El límite líquido de este material es de 25% y el Índice de plasticidad de 7%.

Sobre muestras extraídas de este material se hicieron ensayos de peso unitario que arrojaron valores promedio del peso unitario de 17.41 kN/m<sup>3</sup>, que es un valor adecuado para arcillas de esta naturaleza.

#### 6.3.2.4 Limo de baja plasticidad 2

Se encontró un estrato de limo de baja plasticidad subyaciendo al nivel inferior de arena (Arena Limosa 2). Este limo se presenta en color gris oscuro, como se puede apreciar en la Figura 6-1. Este material se encuentra en un espesor mínimo de 2.0 m y puede clasificarse como ML según el sistema unificado de clasificación de suelos, S.U.C.S. (véase la Figura 6-12).

En esta parte del trazado del dique el limo presenta una consistencia firme (véase Tabla 6-5) con valores de N60 arrojados por el ensayo de SPT de alrededor de 22 golpes, que van desde 17 hasta 27 golpes. En la Figura 6-9 se presenta un gráfico del valor de N60 contra la profundidad para la perforación PT-DPN-1, donde se aprecia que el limo tienen una consistencia muy firme. En el Anexo D se presenta un resumen de los resultados de los ensayos SPT para las exploraciones ejecutadas en esta zona del dique 3 Pinillos.



**Figura 6-13. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de limos de baja plasticidad.**

Debido a que este material presenta una consistencia predominantemente firme, para los análisis de estabilidad, los parámetros geomecánicos del material aluvial fino serán calculados para una condición firme del mismo.

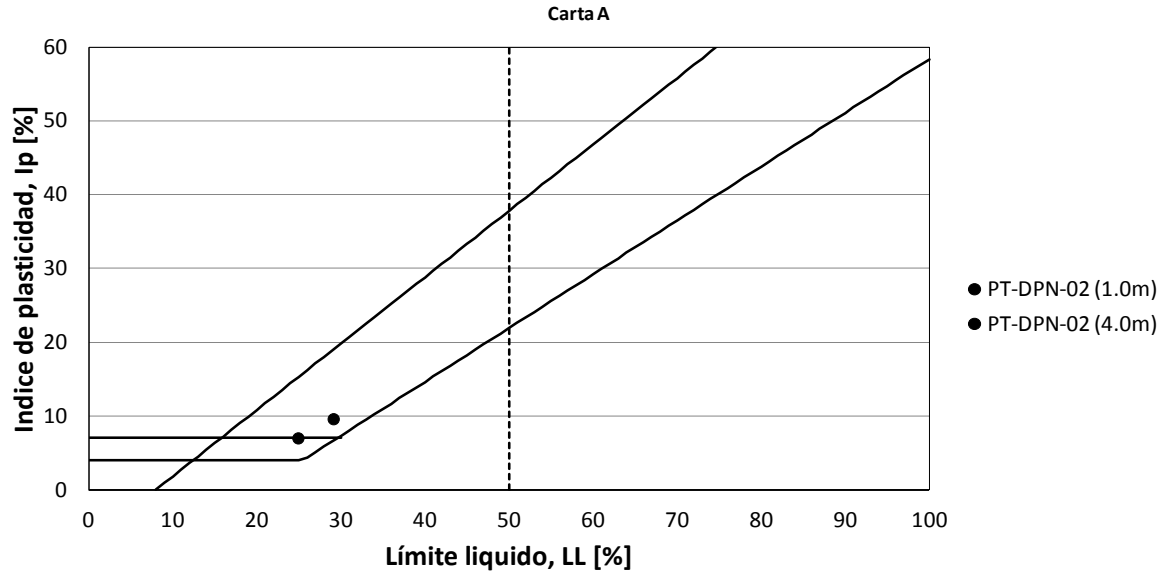
Este material en la fundación se encuentra sumergido (véase Figura 6-9), debido a esto no se esperan cambios sobre sus propiedades diferentes a las que se puedan dar por procesos mecánico. En la Figura 6-4 se presenta el gráfico de humedades contra profundidad para la perforación PT-DP-1, donde también se plasman los límites de consistencia para el material. El límite líquido de este material es de 45% y el Índice de plasticidad de 17%.

### 6.3.3 Perfil de fundación No 1

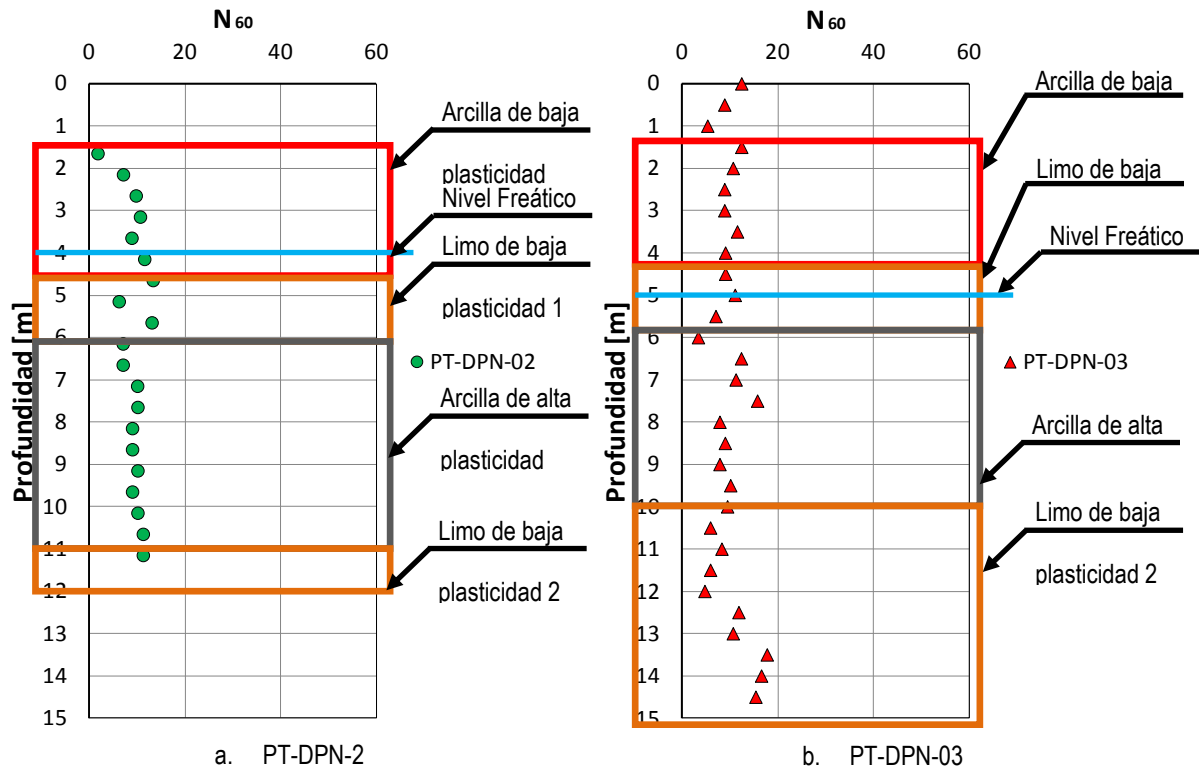
#### 6.3.3.1 Arcillas de baja plasticidad (Depósito aluvial de fundación)

El estrato superficial de la fundación del dique está compuesto por arcilla de baja plasticidad. Esta arcilla se presentan en colores marrón claro, como se puede apreciar en la Figura 6-1. Este material cuyo espesor registrado con la perforación PT-DPN-2 y PT-DPN-3 va de 0.5 m a 3.50m, fue registrado entre 2.00m y 2.50m en la perforación 3 y entre 0.00m y 3.50m en la perforación 2. Este material clasifica como CL según el sistema unificado de clasificación de suelos, S.U.C.S. (véase la Figura 6-14).

En esta zona del dique la arcilla de fundación presentan una consistencia blanda a firme (véase Tabla 6-5) con valores promedio de N60 obtenidos con el ensayo de SPT de 9 golpes/pie, y que van de 2 hasta 13 golpes/pie, siendo predominantemente cercanos al valor promedio. En la Figura 6-15 se presenta un gráfico del valor de N60 contra la profundidad para la perforación PT-DPN-2 y PT-DPN-3, donde se aprecia que la arcilla en la fundación tienen una consistencia que va de blanda a firme en la perforación PT-DPN-2 y firme en la perforación PT-DPN-3. En el Anexo D se presenta un resumen de los resultados de los ensayos SPT para las exploraciones ejecutadas en esta zona del dique estudiado. Lo que diferencia esta arcilla de la encontrada con la perforación PT-DPN-1 es la consistencia encontrada con la perforación PT-DPN-2, la cual en la cual hasta 1.50m va de blanda a media.



**Figura 6-14. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de arcilla de baja plasticidad.**

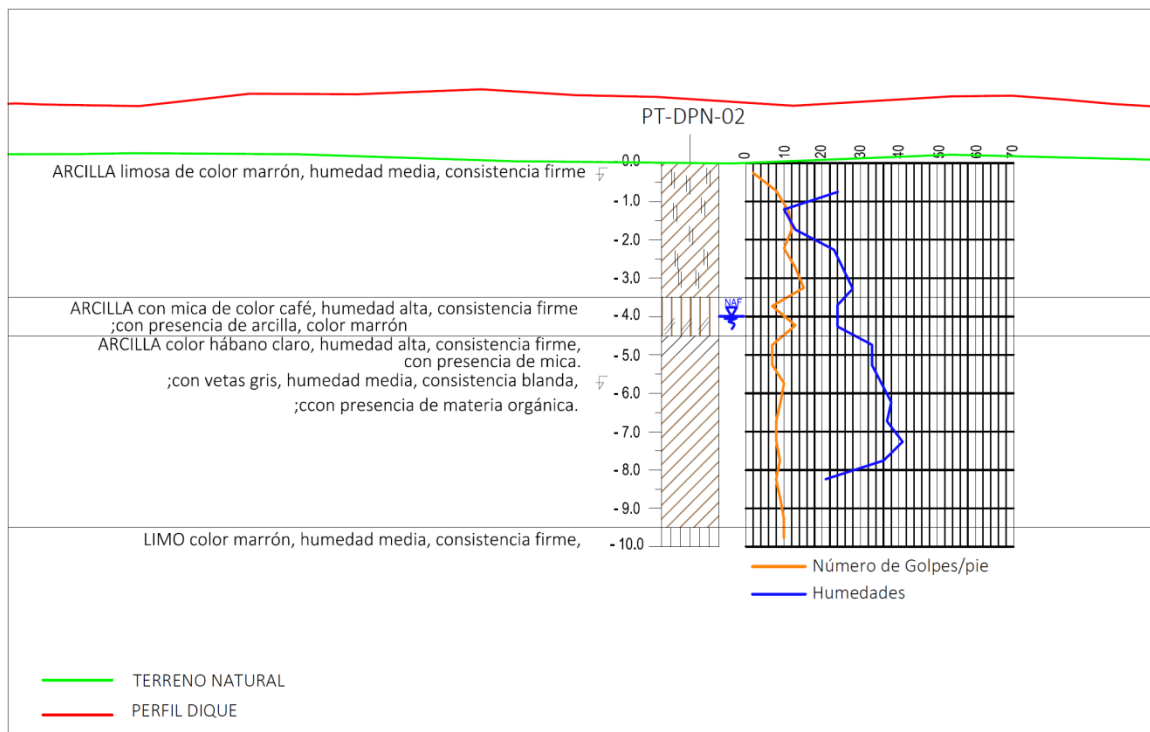


**Figura 6-15. Gráfico de resistencia a la penetración estándar (N60) contra la profundidad arrojado por a.) Ensayo de PT DPN-2 b.) Ensayo de PT DPN-3, ejecutado en la zona de estudio.**

Debido a que este material presenta una consistencia que va de blanda a firme (específicamente en la perforación PT-DPN-2), para los análisis de estabilidad, los parámetros geomecánicos del material aluvial fino serán calculados para una condición intermedia del mismo.

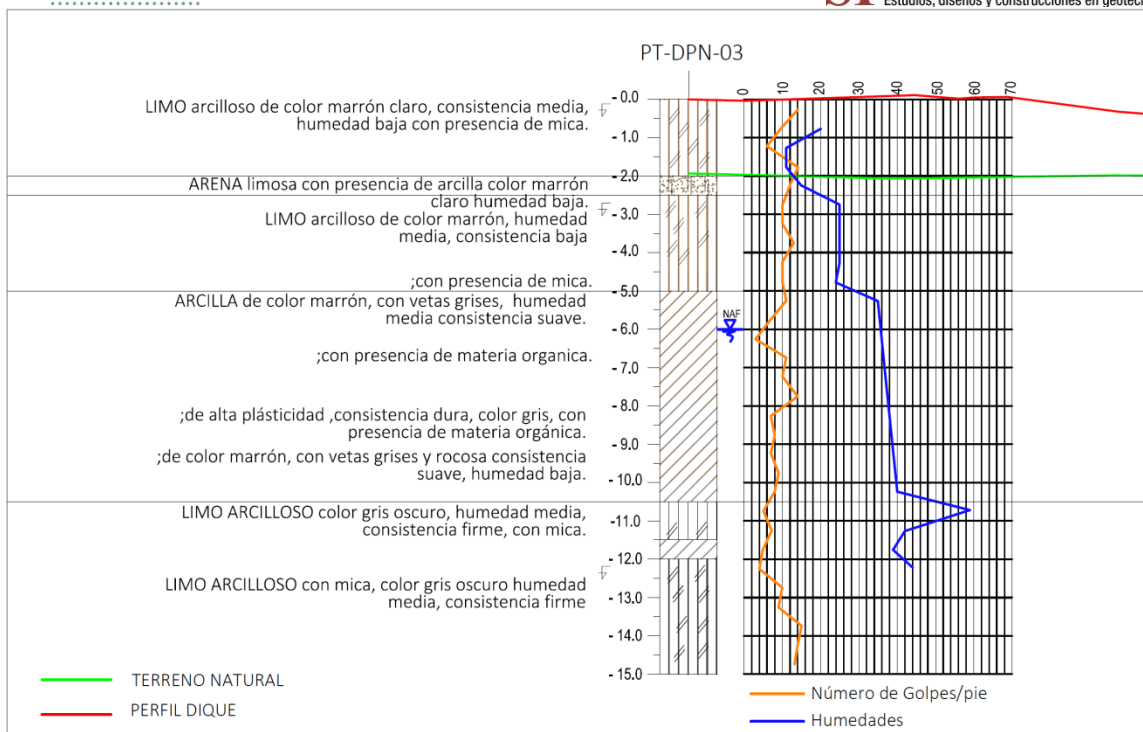
Este material en la fundación se encuentra por encima del nivel freático (véase Figura 6-15, Figura 6-16 y Figura 6-17). Este material presenta una baja plasticidad (véase Figura 6-14), desconociéndose la sensibilidad que este presenta a los cambios en la humedad debido a que no se tienen resultados de este mismo material para condiciones saturadas. Sin embargo, puede esperarse, que este presente una moderada a baja susceptibilidad si dicho material conserva las mismas características del material de arcilla que se encuentra más profundo (a 5.65m, véase Figura 6-4b), el cual alcanza a desarrollar niveles de humedad iguales al de su límite líquido. Esto puede evidenciarse en que el material que se encuentra sobre el nivel freático presenta una humedad por debajo al límite plástico, mientras que el material que se encuentra sumergido presenta una humedad muy alta, e igual al límite líquido.

En la Figura 6-4b y Figura 6-4c se presenta el gráfico de humedades contra profundidad para la perforación PT-DPN-2 y PT-DPN-3, donde también se plasman los límites de consistencia para el material. Como se puede ver en esta figura el material por encima del nivel freático se encuentra seco, mientras que debajo del nivel freático la humedad del material aumenta significativamente y es igual en este caso límite líquido.



**Figura 6-16. Perfil estratigráfico del suelo de fundación para la exploración PT-DPN-2 realizada en la zona, donde se observa que el estrato aluvial de fundación está por encima del nivel freático.**





**Figura 6-17. Perfil estratigráfico del suelo de fundación para la exploración PT-DPN-3 realizada en la zona, donde se observa que el estrato aluvial de fundación está por encima del nivel freático.**

Sobre una muestra extraída de este material se hizo un ensayo de peso unitario que arrojó un valor del peso unitario de  $17.46 \text{ kN/m}^3$ , que es un valor adecuado para arcillas de esta naturaleza.

#### 6.3.3.2 Limo de baja plasticidad 1

Se encontró con la perforación PT-PDN-03 un estrato de limo de baja plasticidad subyaciendo al nivel de arcilla de baja plasticidad. Este limo se presenta en color marrón, como se puede apreciar en la Figura 6-1. Este material que se encuentra en un espesor variable entre 1.0m (en la perforación PT-DPN-2) y 3.0 m (en la perforación PT-DPN-3) puede clasificarse como ML según el sistema unificado de clasificación de suelos, S.U.C.S. Este no presentó plasticidad, es de naturaleza más granular.

En esta parte del trazado del dique el limo presenta una compactación medio suelta (véase Tabla 6-5) con valor promedio de N60 arrojados por el ensayo de SPT de 9 golpes/pie, que van desde 9 hasta 12 golpes/pie. En la Figura 6-15 se presenta un gráfico del valor de N60 contra la profundidad para la perforación PT-DPN-3, donde se aprecia que el limo tienen una compactación medio suelta. En el Anexo D se presenta un resumen de los resultados de los ensayos SPT para las exploraciones ejecutadas en este tramo del dique 3 Pinillos.

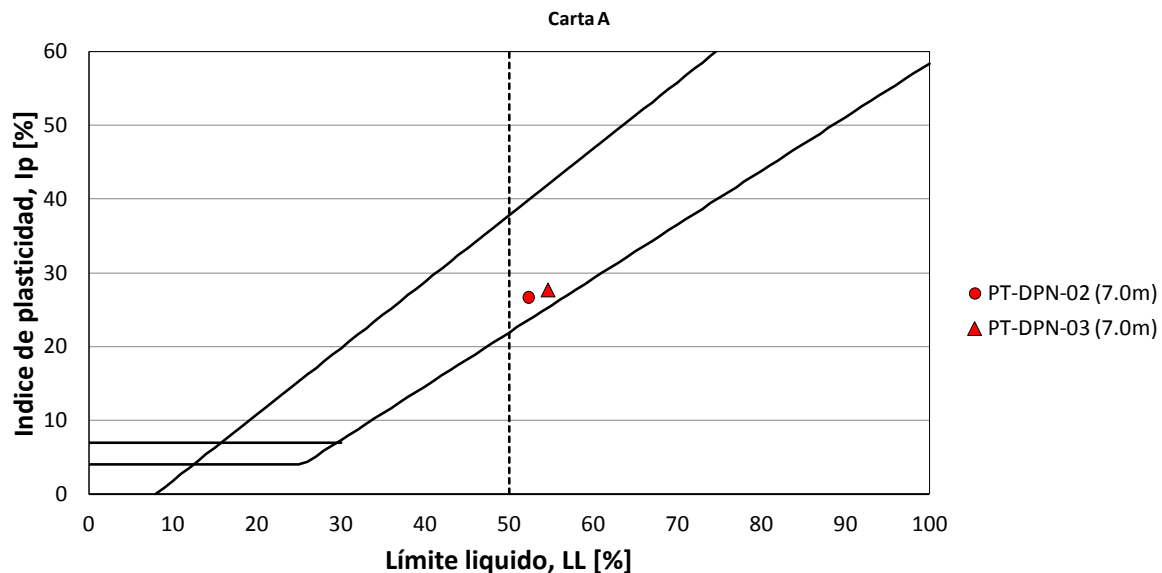
Debido a que este material presenta una compactación predominantemente medio suelta, para los análisis de estabilidad, los parámetros geomecánicos del material aluvial fino serán calculados para una compactación medio suelta del mismo. Este material se encuentra sumergido y es no cohesivo, por lo tanto no se esperan cambios volumétricos de este.

### 6.3.3.3 Arcilla de alta plasticidad

Subyaciendo al estrato de arcilla descrito en el numeral 6.3.3.1 y al limo de baja plasticidad descrito en numeral 6.3.3.2 se encontró un estrato de arcilla de alta plasticidad a profundidades, medida desde la cresta del dique, de 5.00m y 6.15m y hasta 10.0m y 11.15m. Este arcilla se presenta en color marrón con vetas grises, como se puede apreciar en la Figura 6-1. Este material se encuentra en un espesor que va desde un mínimo de 5.0 m en la perforación PT-DPN-2 hasta 5.5 m en la perforación PT-DPN-3 y puede clasificarse como CH según el sistema unificado de clasificación de suelos, S.U.C.S. (véase la Figura 6-18).

En esta parte del trazado del dique la arcilla presenta una consistencia firme (véase Tabla 6-5) con valor promedio de N60 arrojado por el ensayo de SPT de 9 golpes, que van desde 3 hasta 16 golpes, siendo predominantemente cercanos todos los datos al valor promedio. Solo un valor de N60=3 en la perforación clasifica como arcilla de consistencia blanda y corresponde a una muestra tomada en un rango de muestreo de 0.50m en un espesor total de arcilla de 5.0m en promedio. Por lo tanto, este material presente en términos generales una consistencia firme.

En la Figura 6-15 se presenta un gráfico del valor de N60 contra la profundidad para las perforaciones PT-DPN-2 y PT-DPN-3, donde se aprecia que la arcilla tiene una consistencia firme. En el Anexo D se presenta un resumen de los resultados de los ensayos SPT para las exploraciones ejecutadas en este tramo del dique.



**Figura 6-18. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de arcillas de alta plasticidad.**

Debido a que este material presenta una consistencia predominantemente firme, para los análisis de estabilidad, los parámetros geomecánicos del material aluvial fino serán calculados para una condición firme del mismo.

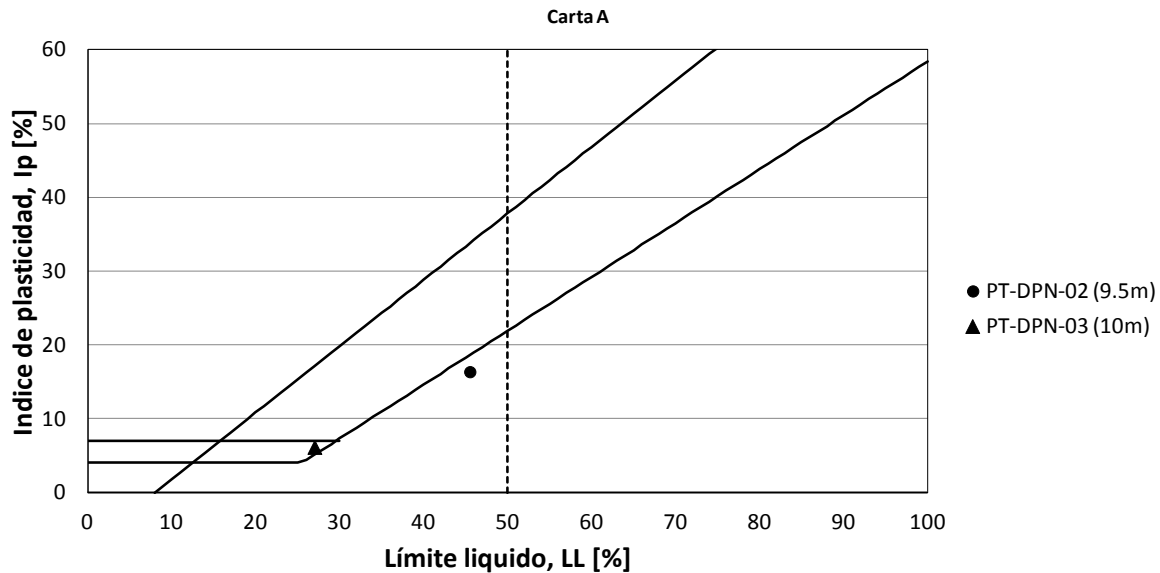
Este material en la fundación se encuentra sumergido (véase Figura 6-9), debido a esto no se esperan cambios sobre sus propiedades diferentes a las que se puedan dar por procesos mecánico. En la Figura 6-4 se presenta el gráfico de humedades contra profundidad para las perforaciones PT-DPN-2 y PT-DPN-3, donde también se plasman los límites de consistencia para el material. El límite líquido de este material va desde 52% hasta 55% y el Índice de plasticidad desde 27% hasta 28%, para las perforaciones PT-DPN-2 y PT-DPN-3, respectivamente.

#### 6.3.3.4 Limo de baja plasticidad 2

Subyaciendo al estrato de arcilla de alta plasticidad se encontró un estrato de limo de baja plasticidad. Este limo se presenta en color gris oscuro, como se puede apreciar en la Figura 6-1. Este material se encuentra en un espesor mínimo de 3.0 m en la perforación PT-DPN-03 y puede clasificarse como ML según el sistema unificado de clasificación de suelos, S.U.C.S. (véase la Figura 6-18).

En esta parte del trazado del dique el limo presenta una consistencia firme (véase Tabla 6-5) con valor promedio de N60 arrojado por el ensayo de SPT de 13 golpes/pie, que van desde 5 hasta 18 golpes, siendo predominantemente cercanos todos los datos al valor promedio. Solo un valor de N60=5 en la perforación clasifica como limo de consistencia media y corresponde a una muestra tomada en un rango de muestreo de 0.50m en un espesor total de limo de 3.5m en promedio. Por lo tanto, este material presente en términos generales una consistencia firme.

En la Figura 6-15 se presenta un gráfico del valor de N60 contra la profundidad para las perforaciones PT-DPN-2 y PT-DPN-3, donde se aprecia que el limo tiene una consistencia firme. En el Anexo D se presenta un resumen de los resultados de los ensayos SPT para las exploraciones ejecutadas en esta zona del dique.



**Figura 6-19. Carta de plasticidad de Casagrande para el material aluvial fino de fundación constituido de limo de baja plasticidad.**

Debido a que este material presenta una consistencia predominantemente firme, para los análisis de estabilidad, los parámetros geomecánicos del material aluvial fino serán calculados para una condición firme del mismo.

Este material en la fundación se encuentra sumergido (véase Figura 6-9), debido a esto no se esperan cambios sobre sus propiedades diferentes a las que se puedan dar por procesos mecánicos. En la Figura 6-4 se presenta el gráfico de humedades contra profundidad para las perforaciones PT-DPN-2 y PT-DPN-3, donde también se plasman los límites de consistencia para el material. El límite líquido de este material va desde 27% hasta 52% y el Índice de plasticidad desde 6% hasta 27%, para las perforaciones PT-DPN-3 y PT-DPN-2, respectivamente.

#### 6.4 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

A partir de la descripción geotécnica de los materiales encontrados en las prospecciones ejecutadas y con base en el perfil geológico-geotécnico que se presenta en el Anexo C, se zonificó geotécnicamente la zona donde se proyecta la construcción del dique 3 Pinillos y cuyo alineamiento corresponderá al del terraplén de la vía existente.

En la Tabla 6-12 se puede apreciar esta zonificación que consiste de una primera zona que se encuentra entre las Abs. K0+000 y K0+180, y en ésta los suelos finos arcillosos conforman primordialmente el suelo de fundación. En esta zona los estratos superiores y hasta los 5.0m/6.0m corresponden a arcillas y limos de baja plasticidad. Se registro también un estrato de arcilla de alta plasticidad el cual subyace a los estratos de arcilla y limo de baja plasticidad y suprayace a los limos de baja plasticidad encontrado en los metros finales de las perforaciones.

La segunda zona entre las Abs. K0+180 y K0+294.1, el subsuelo está compuesto primordialmente por arcillas de consistencia firme acompañadas de dos estratos de arena limosa, uno superior de 2.0m de espesor (Arena limosa 1) y otro inferior de 4.0m (Arena limosa 2).

En la Figura 6-21 y en la Figura 6-22 se presenta un esquema del perfil estratigráfico para cada una de las dos (2) zonas geotécnicas del suelo de fundación del dique 3 Pinillos.

**Tabla 6-12. Resumen de la zonificación geotécnica.**

ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	
Zona 1	Zona 2
K0 + 000 - K0 + 180	K0 + 180 - K0 + 294.1

Esta zonificación se basa en los resultados de las perforaciones y fue corroborado con todas las tomografías realizadas. En la Figura 6-20 se presenta a manera de ejemplo un esquema de la comparación entre la estratificación propuesta cercana a la Abs. K0+000 con los resultados de las tomografías. En esta se observa que a profundidades similares se tienen cambios de estratos. Cada tomografía fue evaluada para estimar la distribución de los estratos en el tramo de estudio.

***De esta forma, el perfil geotécnico 1 corresponde a la zona geotécnica 1 y el perfil geotécnico 2 corresponde a la zona geotécnica 2***

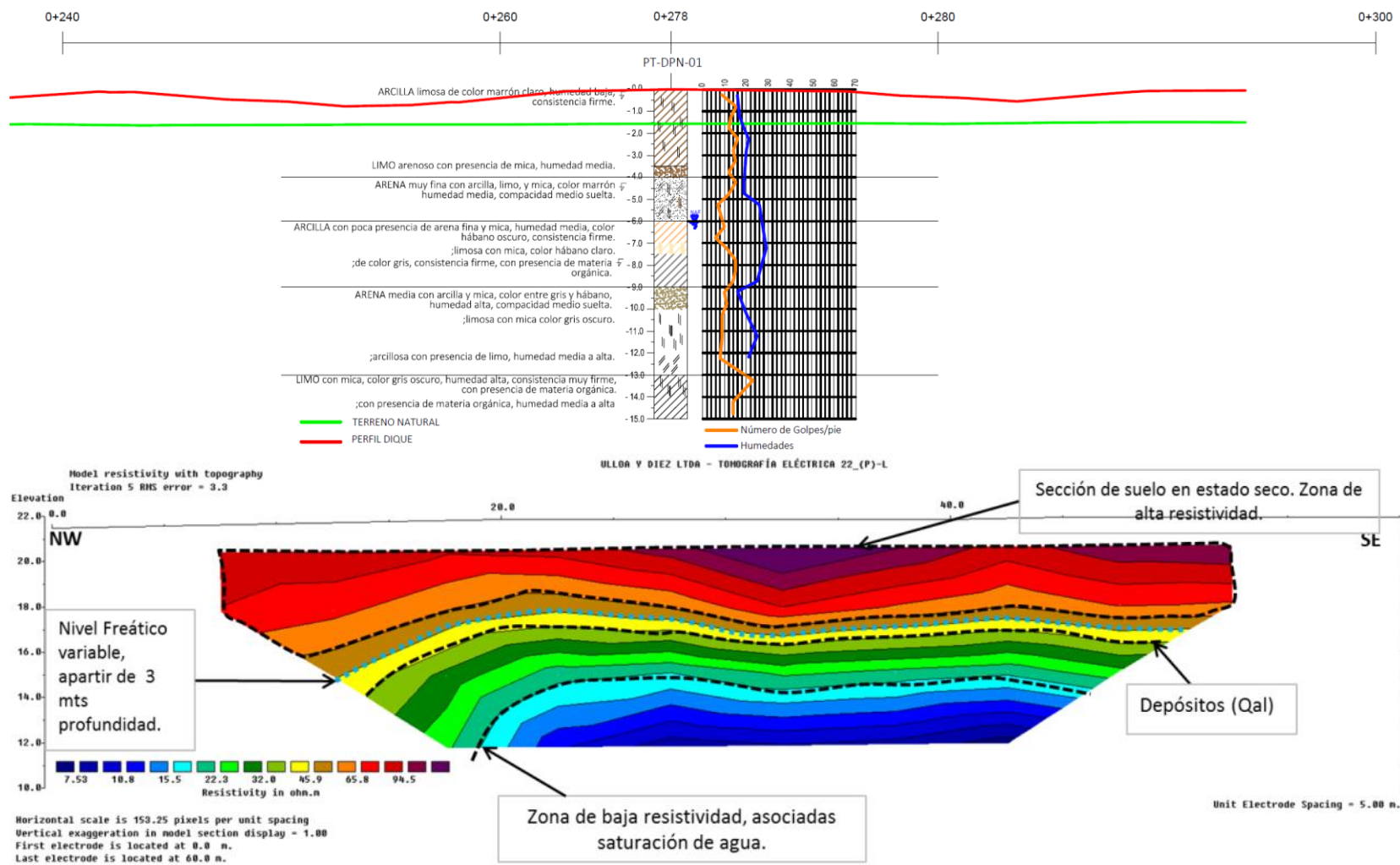
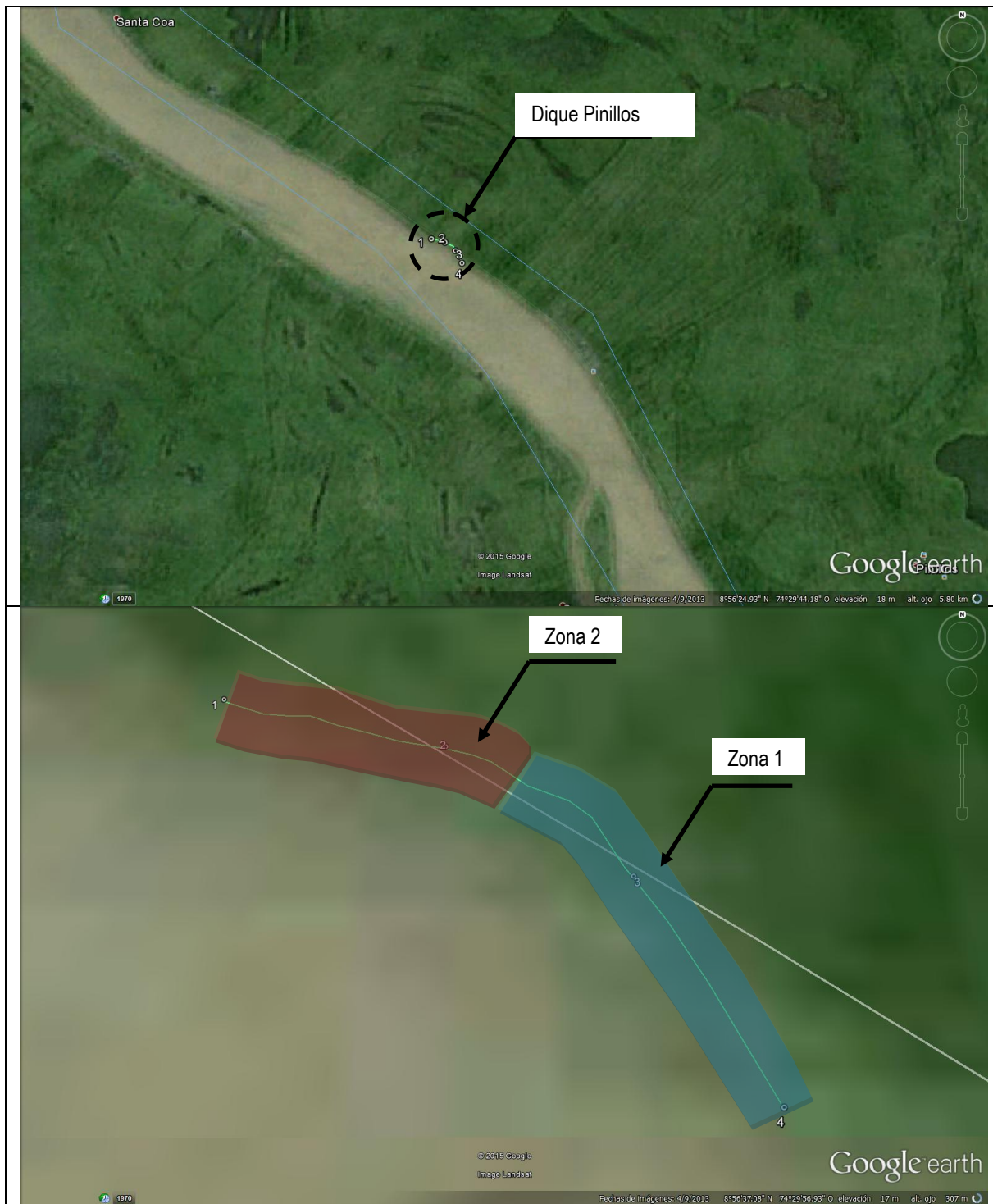


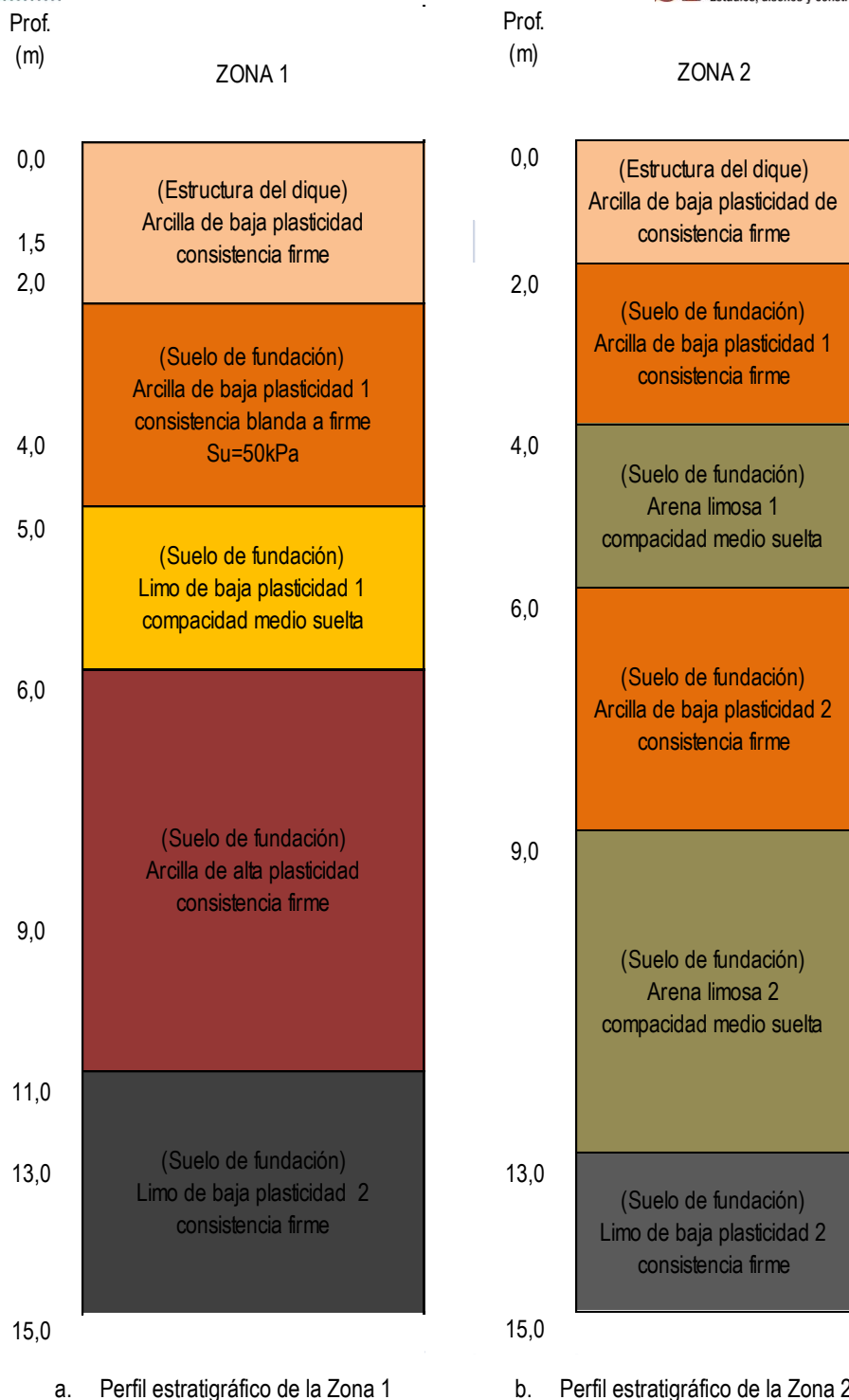
Figura 38. Tomografía Eléctrica 22\_(P)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4

Figura 6-20. Evaluación de la estratigrafía con respecto a las tomografías.





**Figura 6-21. Zonificación geotécnica del suelo de fundación del dique Pinillos.**



**Figura 6-22. Esquema de los perfiles estratigráficos para cada una de las zonas geotécnicas.**

En la Tabla 6-13 se relacionaron las zonificaciones tanto geométrica como geotécnica por medio de una zonificación global.

**Tabla 6-13. Zonificación global de la estructura (Basado en la zonificación geotécnica y geométrica)**

Dique 3 Pinillos			
Zona global	Zona geométrica	Zona Geotécnica	Abscisa
Zona 3	Zona 3	Zona 2	K0 + 180 - K0 + 294.1
Zona 2	Zona 2	Zona 1	K0 + 040 - K0 + 180
Zona 1	Zona 1	Zona 1	K0 + 000 - K0 + 040

## 6.5 NIVEL FREÁTICO EN LA ZONA

La profundidad del nivel freático (NF) se verificó por medio de la constante medición de este nivel durante la ejecución de las exploraciones en campo. Estas mediciones indicaron que el nivel se encontró por lo general a una profundidad de entre 4.0 y 5.0 m medidos desde la cresta del dique (Elevación 21.13 msnm) en las perforaciones PT-DPN-1 y PT-DPN-3. Por otra parte, con la perforación PT-DPN-02 cuya cota de inicio fue la elevación 14 msnm, el nivel freático fue registrado a 5.0m de profundidad. En el Anexo F se puede ver para cada una de las exploraciones la altura a la que se encontró el nivel freático y en la Tabla 6-1 se resumen los valores del NF para cada una de las exploraciones con recobro.

### 6.5.1 Consideraciones especiales para arenas con contenido de finos

Como se puede evidenciar en los ensayos de granulometrías realizados en las arenas estas tienen una porcentaje de finos que va entre el 17 al 20% y no se considera que esto genera un exceso de presión de poros considerable.

## 6.6 PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE LOS MATERIALES

La determinación de los parámetros de resistencia al corte de la gran mayoría de los materiales descritos anteriormente se llevó a cabo por medio de correlaciones empíricas que emplean el número de golpes del ensayos SPT y los índices de plasticidad y liquidez del material. Solo fue posible obtener dos muestras inalteradas para corte directo de la perforación PT-DPN-1 a profundidades de 10m en adelante.

### 6.6.1 Parámetros de resistencia al corte no drenado ( $S_u$ )

#### 6.6.1.1 Arcilla de baja plasticidad (cuerpo del dique)

El valor de la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) de este material se determinó a través de las correlaciones empíricas de Yilmaz (2000), Bardet (1997) y del Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC) (1986), que por medio de parámetros como el índice de liquidez y el número de golpes del ensayo SPT permiten determinar el valor de  $S_u$  de materiales de esta naturaleza. En la Figura 6-23, la Figura 6-24 y la Figura 6-25 la se presentan gráficos de las tres correlaciones Yilmaz (2000), Bardet (1997) y NAVFAC (1986) respectivamente.

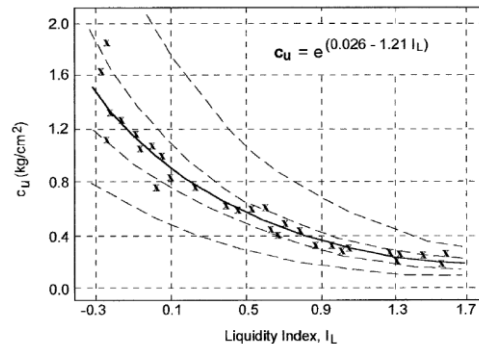


Figura 6-23. Relación entre la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) y el Índice de Liquidez. (Yilmaz, 2000).

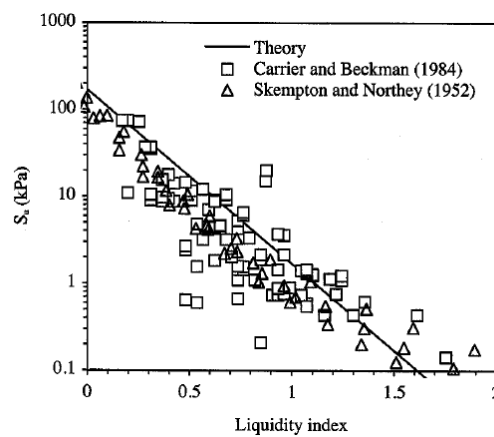


Figura 6-24. Relación entre la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) y el Índice de Liquidez. (Bardet, 1997).

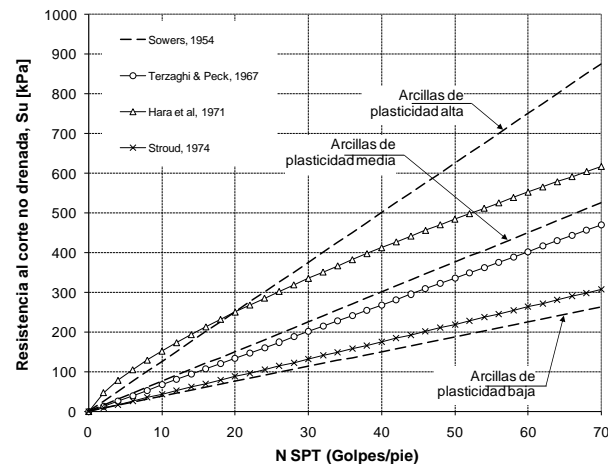


Figura 6-25. Relación entre la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) y el ensayo de SPT (NAVFAC DM-7.1, 1986).

En la Tabla 6-14 se presenta un resumen de los valores obtenidos para la resistencia al corte no drenado del material por medio de las correlaciones antes descritas.

**Tabla 6-14. Resultados del cálculo del valor de  $S_u$  por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		N60	w (%)	Límites de Atterberg				Su (kPa)		
	Inicial	Final			LL	LP	IP	IL	Yilmaz, 2000	Bardet, 1997	NAVFAC DM-7.1, 1986
PT-DP-1	0.0	0.5	10	0,00							40
	0.5	1.0	15	16,00							70
	1.0	1.5	12	17,78	32	21	11	-0,24	134		60
PT-DP-3	0.0	0.5	12	0,00							60
	0.5	1.0	9	20,05							30
	1.0	1.5	5	11,90							20
	1.5	2.0	12	11,78	30	21	9	-0,99	334		60
<b>Promedio</b>			<b>11</b>	<b>11</b>	<b>31</b>	<b>21</b>	<b>10</b>	<b>-0,61</b>	<b>234</b>		<b>49</b>
<b>Máximo</b>			15	20	32	21	11	-0,24	334		70
<b>Mínimo</b>			5	0	30	21	9	-0,99	134		20
<b>Desviación estándar</b>			3,26	8,13	1,70	0,07	1,77	0,53	141,10		18,64
<b>Número de datos</b>			7	7	2	2	2	2	2	0	7

Como se puede ver en la Tabla 6-14 se obtuvieron valores medios de resistencia al corte no drenado de este material de 134.0 y 234.0 kPa por medio de las correlaciones de Yilmaz (2000) y desde 20 hasta 70.0 kPa con las correlaciones propuestas por NAVFAC (1986). Con las correlaciones propuestas por Bardet no fue posible obtener ningún dato de resistencia ya que los valores de índice de liquidez obtenidos se encuentran por fuera del rango de la correlación.

Luego de analizar estos resultados se consideró que el valor arrojado por la correlación de Yilmaz (2000) se aleja de los valores esperados para este tipo de materiales, que para la experiencia de SUELOS INGENIERIA con este tipo de materiales y proyectos se espera sean de menor magnitud. El alto valor en la resistencia al corte obtenido con estas correlaciones se debe al estado muy seco de las muestras.

Finalmente teniendo en cuenta los resultados de los ensayos SPT y de las correlaciones empíricas, se consideró adecuado tomar un valor de resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) para el material de arcilla del cuerpo del dique en esta zona de 50 kPa. Este valor corresponde a un valor medio de los valores obtenidos con las correlaciones de NAVFAC (1986) y se encontró apropiado y consistente con valores típicos de suelos con características similares.

#### 6.6.1.2 Arcillas de baja plasticidad 1 (Aluvial fino de fundación - estrato superficial)

El valor de la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) de este material se determinó a través de las correlaciones empíricas de Yilmaz (2000), Bardet (1997) y del Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC) (1986), que por medio de parámetros como el índice de liquidez y el número de golpes del ensayo SPT permiten determinar el valor de  $S_u$  de materiales de esta naturaleza.



El material encontrado en todos los sitios presenta una consistencia firme, por lo que se obtuvo este parámetro de resistencia para el material para este estado. Para caracterizar el material se agruparon los resultados para este estrato subyacente al dique y que es común para las perforaciones PT-DPN-1 y PT-DPN-2.

En la Tabla 6-15 se presenta un resumen de los valores obtenidos para la resistencia al corte no drenado del material por medio de las correlaciones antes descritas.

**Tabla 6-15. Resultados del cálculo del valor de Su por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		N60	w (%)	Límites de Atterberg				Su (kPa)		
	Inicial	Final			LL	LP	IP	IL	Yilmaz, 2000	Bardet, 1997	NAVFAC DM-7.1, 1986
PT-DP-1	1.5	2.0	11	19,19							40
	2.0	2.5	14	21,33							53
	2.5	3.0	12	20,75							47
	3.0	3.5	13	27,68							50
	3.5	4.0	11								40
PT-DP-2	1.65	2.15	2								7
	2.15	2.65	7	24,64							27
	2.65	3.15	10	10,11	29	20	10	-0,98	329		37
	3.15	3.65	11	13,50							40
	3.65	4.15	9	23,28							33
	4.15	4.65	12								43
	4.65	5.15	13	28,57							50
<b>Promedio</b>			<b>10</b>	<b>21</b>	<b>29</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>-0,98</b>	<b>329</b>		<b>39</b>
<b>Máximo</b>			14	29	29	20	10	-0,98	329		53
<b>Mínimo</b>			2	10	29	20	10	-0,98	329		7
<b>Desviación estándar</b>			3,37	6,11							12,65
<b>Número de datos</b>			12	9	1	1	1	1	1	0	12

Como se puede ver en la Tabla 6-15 se obtuvieron valores medios de resistencia al corte no drenado de este material de 329.0 kPa por medio de las correlaciones de Yilmaz (2000) y desde 7.0 hasta 53.0 kPa con las correlaciones propuestas por NAVFAC (1986). Con las correlaciones propuestas por Bardet no fue posible obtener ningún dato de resistencia ya que los valores de índice de liquidez obtenidos se encuentran por fuera del rango de la correlación.

Luego de analizar estos resultados se consideró que el valor arrojado por la correlación de Yilmaz (2000) se aleja de los valores esperados para este tipo de materiales, que para la experiencia de SUELOS INGENIERIA con este tipo de materiales y proyectos se espera sean de menor magnitud. El alto valor en la resistencia al corte obtenido con estas correlaciones se debe al estado muy seco de las muestras.

Finalmente teniendo en cuenta los resultados de los ensayos SPT y de las correlaciones empíricas, se consideró adecuado tomar un valor de resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) para el material de arcilla de baja plasticidad 1 en esta zona de 25 kPa. Este valor corresponde a un valor por debajo de la media de los valores obtenidos con las correlaciones de NAVFAC (1986) y se encontró apropiado y consistente con valores típicos de suelos con características similares. Esto debido a que este material va a estar expuesto a niveles altos de humedad para los diferentes escenarios de crecientes que se presenten en la zona.

#### 6.6.1.3 Arcillas de baja plasticidad 2 (Aluvial fino de fundación - estratos intermedios)

El valor de la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) de este material se determinó a través de las correlaciones empíricas de Yilmaz (2000), Bardet (1997) y del Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC) (1986), que por medio de parámetros como el índice de liquidez y el número de golpes del ensayo SPT permiten determinar el valor de  $S_u$  de materiales de esta naturaleza.

A diferencia de las arcillas de baja plasticidad mencionadas en el numeral 6.6.1.2, estas caracterizan zonas mucho más profundidad y totalmente sumergidas. Estas se encuentran a profundidades superiores a los 6.0m por debajo de la cresta del dique y hasta los 9.00m.

El material encontrado en la perforación PT-DPN-1 presenta una consistencia firme, por lo que se obtuvo este parámetro de resistencia para el material para este estado. Para caracterizar el material se agruparon los resultados para este estrato.

En la Tabla 6-16 se presenta un resumen de los valores obtenidos para la resistencia al corte no drenado del material por medio de las correlaciones antes descritas.

**Tabla 6-16. Resultados del cálculo del valor de  $S_u$  por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		N60	w (%)	Límites de Atterberg				Su (kPa)		
	Inicia I	Final			LL	LP	IP	IL	Yilmaz, 2000	Bardet, 1997	NAVFAC DM-7.1, 1986
PT-DP-1	6.0	6.5	11				0				42
	6.5	7.0	7				0				25
	7.0	7.5	12	29,83	25	18	7	1,64	14	0	46
	7.5	8.0	17				0				63
	8.0	8.5	17				0				63
	8.5	9.0	16	25,35			0				
<b>Promedio</b>			<b>13</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>1,64</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>48</b>
<b>Máximo</b>			17	30	25	18	7	1,64	14	0	63
<b>Mínimo</b>			7	0	25	18	0	0,00	14	0	25
<b>Desviación estándar</b>			3,99	3,17							15,95
<b>Número de datos</b>			6	2	1	1	6	1	1	1	5

Como se puede ver en la Tabla 6-16 se obtuvieron valores medios de resistencia al corte no drenado de este material de 14.0 kPa por medio de las correlaciones de Yilmaz (2000), de 10 kPa por medio de las correlaciones propuestas por Bardet (1997) y desde 25.0 hasta 63.0 kPa con las correlaciones propuestas por NAVFAC (1986).

Luego de analizar estos resultados se consideró que los valores arrojados por la correlación de Yilmaz (2000) y Bardet (1993), aunque corresponden a materiales con un alto contenido de agua, son valores muy bajos considerando que se trata de materiales con N60 de 13 en promedio, por lo tanto, se esperaría que la arcilla tenga una resistencia no drenada mayor. Ahora, considerando que los valores de resistencia obtenidos con NAVFAC que son del orden de 48 kPa en promedio, se propone, considerando la experiencia de SUELOS INGENIERIA con este tipo de materiales y proyectos, utilizar una resistencia de 25kPa.

#### 6.6.1.4 Arcillas de alta plasticidad (Aluvial fino de fundación)

El valor de la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) de este material se determinó a través de las correlaciones empíricas de Yilmaz (2000), Bardet (1997) y del Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC) (1986), que por medio de parámetros como el índice de liquidez y el número de golpes del ensayo SPT permiten determinar el valor de  $S_u$  de materiales de esta naturaleza.

El material encontrado en las perforación PT-DPN-2 y PT-DPN-3 presenta una consistencia firme, por lo que se obtuvo este parámetro de resistencia para el material para este estado. Para caracterizar el material se agruparon los resultados para este estrato.

En la Tabla 6-17 se presenta un resumen de los valores obtenidos para la resistencia al corte no drenado del material por medio de las correlaciones antes descritas.

**Tabla 6-17. Resultados del cálculo del valor de  $S_u$  por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		N60	w (%)	Límites de Atterberg				Su (kPa)		
	Inicia I	Final			LL	LP	IP	IL	Yilmaz, 2000	Bardet, 1997	NAVFAC DM-7.1, 1986
PT-DP-2	6.15	6.65	7	33,33							47
	6.65	7.15	7	33,99							47
	7.15	7.65	10								67
	7.65	8.15	10	38,58							68
	8.15	8.65	9	37,43							60
	8.65	9.15	9	41,30	52	26	27	0,59	49	12	60
	9.15	9.65	10	38,59							68
	9.65	10.15	9	21,86							60
	10.15	10.65	10								68
	10.65	11.15	11	42,54							75
PT-DP-3	5.0	5.5	11	35,54							74

5.5	6.0	7								47
6.0	6.5	3								20
6.5	7.0	11								74
7.0	7.5	10	37,21	55	27	28	0,37	64	32	67
7.5	8.0	14								94
8.0	8.5	7								47
8.5	9.0	8								54
9.0	9.5	7								47
9.5	10.0	9								60
10.0	10.5	8	40,93							54
<b>Promedio</b>		<b>9</b>	<b>36</b>	<b>53</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>57</b>	<b>22</b>	<b>60</b>
<b>Máximo</b>		14	43	55	27	28	1	64	32	94
<b>Mínimo</b>		3	22	52	26	27	0	49	12	20
<b>Desviación estándar</b>		2,25	5,66	1,63	0,92	0,71	0,15	10,55	14,27	15,10
<b>Número de datos</b>		21	11	2	2	2	2	2	2	21

Como se puede ver en la Tabla 6-17 se obtuvieron valores medios de resistencia al corte no drenado de este material de 57.0 kPa por medio de las correlaciones de Yilmaz (2000), de 22.0 kPa por medio de las correlaciones propuestas por Bardet (1997) y desde 20.0 hasta 94.0 kPa con un promedio de 60.0 kPa con las correlaciones propuestas por NAVFAC (1986).

Luego de analizar estos resultados se consideró que los valores arrojados por la correlación de Yilmaz (2000) y Bardet (1993) y los obtenidos con NAVFAC son bastante cercanos y congruentes, se propone por lo tanto, considerando la experiencia de SUELOS INGENIERIA con este tipo de materiales y proyectos, utilizar una resistencia de 60kPa.

#### 6.6.1.5 Limo de baja plasticidad 1 (Aluvial fino de fundación - estrato intermedio)

Este material no presenta características cohesivas, por lo tanto no presenta resistencia al corte no drenado.

#### 6.6.1.6 Limo de baja plasticidad 2 (Aluvial fino de fundación - estrato profundo)

El valor de la resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) de este material se determinó a través de las correlaciones empíricas de Yilmaz (2000), Bardet (1997) y del Naval Facilities Engineering Command (NAVFAC) (1986), que por medio de parámetros como el índice de liquidez y el número de golpes del ensayo SPT permiten determinar el valor de  $S_u$  de materiales de esta naturaleza.

El material encontrado en las perforación PT-DPN-1, PT-DPN-2 y PT-DPN-3 presenta una consistencia firme, por lo que se obtuvo este parámetro de resistencia para el material para este estado. Para caracterizar el material se agruparon los resultados para este estrato.

En la Tabla 6-18 se presenta un resumen de los valores obtenidos para la resistencia al corte no drenado del material por medio de las correlaciones antes descritas.

**Tabla 6-18. Resultados del cálculo del valor de Su por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		N60	w (%)	Límites de Atterberg				Su (kPa)		
	Inicial	Final			LL	LP	IP	IL	Yilmaz, 2000	Bardet, 1997	NAVFAC DM-7.1, 1986
PT-DP-1	13.0	13.5	27	35,96							102
	13.5	14.0	27								102
	14.0	14.5	17	35,96	45	29	17	0,44	59	30,0	62
	14.5	15.0	17								62
PT-DP-2	11.15	11.65	11	51,13	46	29	16	1,34	20	0,5	42
PT-DP-3	10.5	11.0	6	59,92	27	21	6	6,31	0	0,0	22
	11.0	11.5	8	42,21							31
	11.5	12.0	6	39,38							22
	12.0	12.5	5	44,09							18
	12.5	13.0	12								44
	13.0	13.5	11								40
	13.5	14.0	18								67
	14.0	14.5	17								62
	14.5	15.0	15	46,58							58
<b>Promedio</b>			<b>14</b>	<b>44</b>	<b>39</b>	<b>26</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>52</b>
<b>Máximo</b>			27	60	46	29	17	6	59	30	102
<b>Mínimo</b>			5	36	27	21	6	0	0	0	18
<b>Desviación estándar</b>			7,12	8,14	10,62	4,65	5,98	3,16	30,05	17,18	26,70
<b>Número de datos</b>			14	8	3	3	3	3	3	3	14

Como se puede ver en la Tabla 6-18 se obtuvieron valores medios de resistencia al corte no drenado de este material de 26.0 kPa por medio de las correlaciones de Yilmaz (2000), de 10.0 kPa por medio de las correlaciones propuestas por Bardet (1997) y desde 18.0 hasta 102.0 kPa con un promedio de 52.0 kPa con las correlaciones propuestas por NAVFAC (1986).

Luego de analizar estos resultados se consideró que los valores arrojados por la correlación de Yilmaz (2000) y Bardet (1993) y los obtenidos con NAVFAC son bastante congruentes con relación a su contenido de agua y el valor de N60, se propone por lo tanto, considerando la experiencia de SUELOS INGENIERIA con este tipo de materiales y proyectos, utilizar una resistencia de 50kPa.



## 6.7 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DRENADOS

Los parámetros geotécnicos de diseños se obtuvieron con base en los resultados de ensayos de laboratorio efectuados en este estudio y a partir de correlaciones empíricas descritas a continuación.

### 6.7.1 Parámetros de resistencia al corte drenado ( $c'$ y $\phi'$ )

Al igual para la resistencia al corte drenado, los parámetros geomecánicos de este material no todos pudieron determinarse a través de ensayos de corte directo, debido a que no se obtuvieron muchas muestras inalteradas durante la campaña de exploración. Para la mayoría de los materiales, la obtención de estos parámetros se llevó a cabo a través de la interpretación de los ensayos SPT y por medio de correlaciones empíricas. Estas correlaciones empíricas permiten calcular este parámetro a través del índice de plasticidad del material.

#### Angulo de fricción ( $\phi'$ )

Para la determinación de este parámetro se emplearon las correlaciones de Terzaghi, Peck y Mesri (1996) y del U.S. Army Corp of Engineers; GEH, (2002) y corresponden a una curva que relaciona el ángulo de fricción y el índice de plasticidad con base en resultados experimentales para una gran cantidad de muestras de arcillas blandas, arcillas rígidas, arcillolitas y minerales arcillosos. Véase en la Figura 6-26 y en la Figura 6-27 las correlaciones de Terzaghi, Peck y Mesri (1996) y del U.S. Army Corp of Engineers; GEH, (2002) respectivamente.

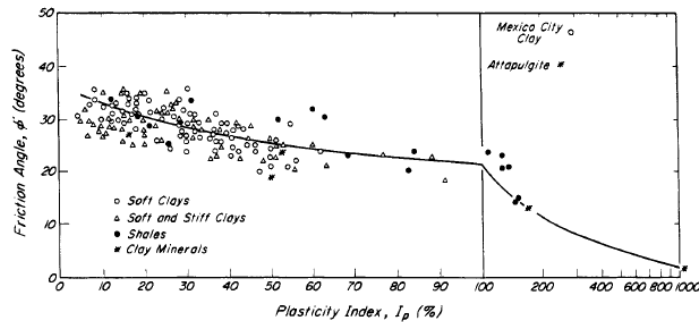


Figura 6-26. Relación entre el ángulo de fricción y el índice de plasticidad de suelos finos (Terzaghi, Peck y Mesri, 1996).

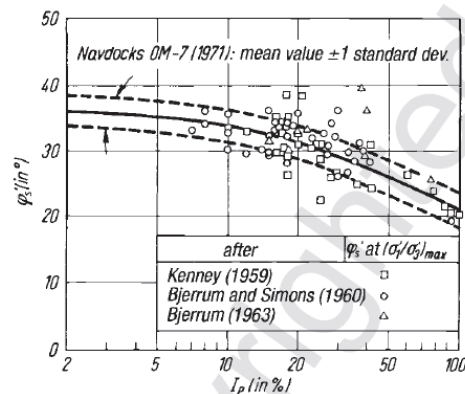


Figura 6-27. Relación entre el ángulo de fricción y el índice de plasticidad de suelos finos (U.S. Army Corp of Engineers; GEH, 2002).

## Cohesión efectiva ( $c'$ )

La resistencia al corte drenada de suelos friccionante y cohesivos se estimó con base en la normativa rusa de caracterización de depósitos cuaternarios SNIP 11-15-74 (ver Tabla 6-19 y Tabla 6-20). Esta normativa correlaciona parámetros de estado del suelo tales como el índice de liquidez e índice de vacíos y características físicas de comportamiento con los parámetros de fricción drenada y cohesión drenada.

Tabla 6-19- Parámetros Geotécnicos normalizados de suelos arenosos (norma rusa SNiP II-15-74 Cimentaciones de edificios y estructuras, Gosstroy URSS, Moscú, 1975).

TIPO	PARAMETRO	VALORES CARACTERÍSTICOS PARA UN ÍNDICE DE POROS $e_0$ DE			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Arenas con grava	$c$	0,02	0,01	—	—
	$\varphi$	43	40	38	—
	$E$	500	400	300	—
Arenas medias	$c$	0,03	0,02	0,01	—
	$\varphi$	40	38	35	—
	$E$	500	400	300	—
Arenas finas	$c$	0,06	0,04	0,02	—
	$\varphi$	38	36	32	28
	$E$	480	380	280	180
Arenas limosas	$c$	0,08	0,06	0,04	0,02
	$\varphi$	36	34	30	26
	$E$	390	230	180	110

Tabla 6-20- Parámetros Geotécnicos normalizados de sedimentos arcillosos cuaternarios (norma rusa SNiP II-15-74 Cimentaciones de edificios y estructuras, Gosstroy URSS, Moscú, 1975).

TIPO	$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}$	PARAMETRO	VALORES CARACTERÍSTICOS PARA UN ÍNDICE DE POROS $e_0$ DE						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Arenoso	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c^H$	0,15	0,11	0,08	—	—	—	—
		$\varphi^H$	30	29	27	—	—	—	—
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	$c^H$	0,13	0,09	0,06	0,03	—	—	—
		$\varphi^H$	28	26	24	21	—	—	—
Limoso	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c^H$	0,47	0,37	0,31	0,25	0,22	0,19	—
		$\varphi^H$	26	25	24	23	22	20	—
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$c^H$	0,39	0,34	0,28	0,23	0,18	0,15	—
		$\varphi^H$	24	23	22	21	19	17	—
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	$c^H$	—	—	0,25	0,20	0,16	0,14	0,12
		$\varphi^H$	—	—	19	18	16	14	12
Arcilloso	$0 \leq I_L \leq 0,25$	$c^H$	—	0,81	0,68	0,54	0,47	0,41	0,36
		$\varphi^H$	—	21	20	19	18	16	14
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$c^H$	—	—	0,57	0,50	0,43	0,37	0,32
		$\varphi^H$	—	—	18	17	16	14	11
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	$c^H$	—	—	0,45	0,41	0,36	0,33	0,29
		$\varphi^H$	—	—	15	14	12	10	7

El índice de vacíos ( $e_0$ ) utilizado para obtener el parámetro de cohesión, corresponde a valores de referencia obtenidos para materiales con características similares en otras zonas de estudio correspondientes al mismo proyecto general

"EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NÚCLEO DE LA REGIÓN DE LA MOJANA". Los valores de referencia utilizados (Véase Tabla 6-21 ) corresponden a ensayos de consolidación realizadas sobre muestras recuperadas para proyectos de los municipios: Nechí, San Jacinto del Cauca, Magangue y Sehebe. En esta tabla se puede evidenciar que para niveles más superficiales de muestreo (PT-DSJ2-10, DM-5) los valores de índice de vacíos son más bajos que para niveles más profundos, a excepción de la perforación PT-DM-3 en donde  $e_o$  tiene un valor muy bajo para profundidades entre 5,70 - 6.70. Este dato no será considerado como representativo debido a que el comportamiento general en el resto de datos a similares profundidades tiende a otros valores mayores de  $e_o$ .

**Tabla 6-21. Índice de vacíos de referencia.**

Municipio	Perforación	Profundidad (m)	Gravedad específica, $G_s$ (-)	$e_o$ (-)
San Jacinto del Cauca	PT-DSJ2-9	6,00-6,76	2,83	1,57
	PT-DSJ2-10	3,00-3,76	2,76	0,77
	PT-DSJ2-13	5,70-6,40	2,70	1,08
Magangue	PT-DM-3	5,70-6,70	2,69	0,50
	MMG-1-3	5,00-5,70	2,89	1,22
	MMG-1-1	4,00-5,50	2,61	0,95
	DM-9	6,20-6,90	2,76	0,97
	DM-5	4,20-5,20	2,62	0,92
Sehebe	PT-DAY-3	6,00-6,70	2,69	1,04
Nechí	DN-6	6,70-7,40	2,67	1,18

De acuerdo a los valores de referencia presentados en la tabla se asignaron los valores de relación de vacíos inicial para cada uno de los estratos del subsuelo de fundación (véase Tabla 6-22).

**Tabla 6-22. Relación de vacíos inicial materiales de fundación del dique**

Material	Consistencia o descripción de densidad	w (%)	Peso unitario seco	Peso unitario húmedo	Relación de vacíos inicial
			$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{hum}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$e_o$ (-)
(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 1	Medio firme a blanda	22	13.9	17.0	0,85
(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 2	Firme	22	14.3	17.5	1,05
(Suelo de fundación) Arcilla de alta plasticidad	Firme	21	13.1	15.6	1,05
(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 1	Media	24	14.4	17.9	NA
(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 2	Firme	24	14.4	17.9	0,95

#### 6.7.1.1 Arcilla de baja plasticidad (cuerpo del dique)

La cohesión efectiva de este material fue calculada por medio de la correlación propuesta por la Normativa Rusa, que emplea el índice de liquidez del material para calcular este parámetro de resistencia. Debido a que el índice de liquidez es negativo y que el límite inferior de este en la normativa rusa es cero (0), se tomó como cohesión el valor correspondiente a 35.0kPa, que se considera congruentes para materiales finos de esta naturaleza en condiciones drenadas, teniendo en cuenta que el material se encuentra compactado.

El ángulo de fricción interna del suelo ( $\phi'$ ) determinado a través de la interpretación de los ensayos SPT se presenta en la Tabla 6-23. El valor obtenido de 33°, se considera un valor apropiado para esta tipo de material en condiciones drenadas.

Un resumen de los valores del ángulo de fricción y de cohesión se presentan en la Tabla 6-23.

**Tabla 6-23. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el material del cuerpo del dique por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		w (%)	Límites de Atterberg				$\phi$ (°)		c' (kPa)
	Inicial	Final		LL	LP	IP	IL	Terzaghi, Peck y Mesri, 1996	U.S. Army Corp of Engineers; GEH, 2002	Normativa rusa
PT-DP-1	1.0	1.5	17,78	32	21	11	-0,24	33	33	35

#### 6.7.1.2 Arcillas de baja plasticidad 1 (Aluvial fino de fundación - estrato superficial)

Para determinar los parámetros geomecánicos en condiciones drenadas  $c'$  y  $\phi'$  del depósito aluvial fino de fundación se utilizaron los resultados de laboratorio obtenidos para este estrato, las correlaciones de Terzaghi, Peck y Mesri (1996) y del U.S. Army Corp of Engineers; GEH, (2002) y la metodología Rusa descrita en los numerales anteriores. Estos ensayos se hicieron para una muestra recuperada a 2.65m por debajo de la cresta del dique. De la misma forma que para la resistencia al corte no drenado, estas propiedades del material fueron determinadas para una consistencia firme del mismo.

De acuerdo a las correlaciones de Terzaghi, Peck y Mesri (1996) y del U.S. Army Corp of Engineers; GEH, (2002) El material firme presenta un valor medio de  $\phi'$  de 33°. En cuanto a la obtención del parámetro de cohesión drenada con la metodología Rusa, debido a que esta permite obtener este parámetro para índices de liquidez positivos se considero el límite inferior permitido para el índice de liquidez ( $IL=0$ ). Con este valor el ángulo de fricción para un suelo con un muy bajo contenido de humedad y una relación de vacíos media ( $e=0.85$ ) se espera sea de 40 kPa. Sin embargo, se esperan valores de humedad mayores y próximos a la saturación de este material para los escenarios de creciente a los cuales quedará expuesto con lo cual los valores de cohesión y fricción recomendados para este nivel de suelo son 20kPa y 16°, respectivamente.

**Tabla 6-24. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el material aluvial fino de fundación (Arcilla de baja plasticidad 1) - estrato superficial por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		w (%)	Límites de Atterberg				$\phi$ (°)		c' (kPa)
	Inicial	Final		LL	LP	IP	IL	Terzaghi, Peck y Mesri, 1996	U.S. Army Corp of Engineers; GEH, 2002	Normativa rusa
PT-DP-2	2.65	3.15	10,11	29	20	10	-0.98	33	33	40

#### 6.7.1.3 Arcillas de baja plasticidad 2 (Aluvial fino de fundación - estratos intermedios)

De acuerdo a las correlaciones de Terzaghi, Peck y Mesri (1996) y del U.S. Army Corp of Engineers; GEH, (2002) El material firme presenta un valor medio de  $\phi'$  de 33°. En cuanto a la obtención del parámetro de cohesión drenada con la metodología Rusa, debido a que esta permite obtener este parámetro para índices de liquidez positivos menores a o iguales a 0.75, se utilizó este límite superior para la obtención de este. Con este valor el parámetro de cohesión para un suelo con alto contenido de humedad y una relación de vacíos media a alta ( $e=1.05$ ) se espera sea de 28 kPa.

**Tabla 6-25. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el aluvial fino de fundación (Arcilla de baja plasticidad 2)- estratos intermedios por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		w (%)	Límites de Atterberg				$\phi$ (°)		c' (kPa)
	Inicial	Final		LL	LP	IP	IL	Terzaghi, Peck y Mesri, 1996	U.S. Army Corp of Engineers; GEH, 2002	Normativa rusa
PT-DP-1	7.0	7.5	29,83	25	18	7	1,64	33	33	28

#### 6.7.1.4 Arcillas de alta plasticidad (Aluvial fino de fundación)

De acuerdo a las correlaciones de Terzaghi, Peck y Mesri (1996) y del U.S. Army Corp of Engineers; GEH, (2002) El material firme presenta un valor medio de  $\phi'$  de 29°. En cuanto a la obtención del parámetro de cohesión drenada con la metodología Rusa, este parámetro para índices de liquidez positivos de 0.59 y 0.37 el parámetro de cohesión medio para un suelo con contenido de humedad medio y una relación de vacíos media ( $e=1.05$ ) se espera sea de 34 kPa.



**Tabla 6-26. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el material arcilla de alta plasticidad por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		w (%)	Límites de Atterberg				$\phi$ (°)		c' (kPa)
	Inicial	Final		LL	LP	IP	IL	Terzaghi, Peck y Mesri, 1996	U.S. Army Corp of Engineers; GEH, 2002	Normativa rusa
PT-DP-2	8.65	9.15	41,30	52	26	27	0,59	28	30	32
PT-DP-3	7.0	7.5	37,21	55	27	28	0,37	28	30	36
Promedio			36	53	26	27	0	28	30	34
Máximo			43	55	27	28	1	28	30	36
Mínimo			22	52	26	27	0	28	30	32
Desviación estándar			5,66	1,63	0,92	0,71	0,15	0,00	0,00	2,77
Número de datos			11	2	2	2	2	2	2	2

6.7.1.5 Limo de baja plasticidad 1 (Aluvial fino de fundación - estrato intermedio)

Este material no presenta características cohesivas, por lo tanto no presenta resistencia por cohesión. De acuerdo a las correlaciones de Terzaghi, Peck y Mesri (1996) y del U.S. Army Corp of Engineers; GEH, (2002) El material presenta un valor medio de  $\phi'$  de 30°.

**Tabla 6-27. Resumen del cálculo del ángulo de fricción interno  $\phi'$ , del peso unitario y del módulo de elasticidad (Es) por medio de correlaciones para el ensayo SPT para el depósito aluvial fino compuesto por limos arenosos.**

Perforación	Profundidad (m)		N60	Descripción de densidad	Promedio en el estrato			
	Inicial	Final			$\phi$ (°) Peck	$\phi$ (°) Peck, Hanson & Thornburn (1974)	$\gamma$ (kN/m³)	Es (MPa)
PT-DNP-3	2.5	3.0	9	Medio Suelta	31	30	18	4,5
	3.0	3.5	9	Medio Suelta	31	30	18	4,5
	3.5	4.0	12	Suelta	31	31	18	5,3
	4.0	4.5	9	Suelta	31	30	18	4,5
	4.5	5.0	9	Medio Suelta	31	30	18	4,5
Promedio			9		31	30	18	4,6

<b>Máximo</b>	12		31	31	18	5,3
<b>Mínimo</b>	9		31	30	18	4,5
<b>Desviación estándar</b>	1,16		0,29	0,41	0,00	0,35
<b>Número de datos</b>	5		5	5	5	5

#### 6.7.1.6 Limo de baja plasticidad 2 (Aluvial fino de fundación - estrato profundo)

De acuerdo a las correlaciones de Terzaghi, Peck y Mesri (1996) y del U.S. Army Corp of Engineers; GEH, (2002) El material firme presenta un valor medio de  $\phi'$  de  $33^\circ$ . En cuanto a la obtención del parámetro de cohesión drenada con la metodología Rusa, este parámetro para índices de liquidez positivos de 0.44 el parámetro de cohesión medio para un suelo con contenido de humedad medio y una relación de vacíos media ( $e=0.95$ ) se espera sea de 15 kPa. Para índices de liquidez iguales a 0.75 el parámetro de cohesión es 14 kPa. Para este último, se utilizó el límite superior del índice de liquidez de la metodología debido a que las condiciones de humedad son muy altas para estas muestras. Por lo tanto, se considera apropiado utilizar un valor de cohesión de 14kPa. Por último, considerando de que se trata de un estrato muy profundo y con niveles de humedad muy altos, es probable que su cohesión se a nula.

**Tabla 6-28. Resumen de resultados del cálculo del ángulo de fricción interna ( $\phi'$ ) y de la cohesión efectiva ( $c'$ ) para el material de limo de baja plasticidad 2 por medio de correlaciones empíricas.**

Perforación	Profundidad (m)		w (%)	Límites de Atterberg				$\phi$ (°)		c' (kPa)
	Inicial	Final		LL	LP	IP	IL	Terzaghi, Peck y Mesri, 1996	U.S. Army Corp of Engineers; GEH, 2002	Normativa rusa
PT-DP-1	14.0	14.5	35,96	45	29	17	0,44	31	33	15
PT-DP-2	11.15	11.65	51,13	46	29	16	1,34	31	33	14
PT-DP-3	10.5	11.0	59,92	27	21	6	6,31	34	35	14
<b>Promedio</b>			<b>44</b>	<b>39</b>	<b>26</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>14</b>
<b>Máximo</b>			60	46	29	17	6	34	35	15
<b>Mínimo</b>			36	27	21	6	0	31	33	14
<b>Desviación estándar</b>			8,14	10,62	4,65	5,98	3,16	1,73	1,15	0.57
<b>Número de datos</b>			8	3	3	3	3	3	3	3

Sin embargo, sobre este material se realizaron dos ensayos de corte directo, obteniéndose los resultados presentados en la tabla. Por lo tanto, se recomienda para este material un ángulo de fricción de máximo  $27^\circ$  y una cohesión nula.

Perforación	Profundidad (m)	c (kPa)	$\phi$ (kPa)
PT-DPN-1	11.0-11.5	0	27
PT-DPN-1	12.0-12.5	0	26

#### 6.7.1.7 Arenas limosas (depósito aluvial grueso de fundación)

Las arenas limosas que se encuentran intercalando el depósito aluvial fino en el suelo de fundación del dique en la zona geotécnica No 1, fueron caracterizadas por medio de correlaciones para los ensayos de SPT ejecutados en la zona. Al igual para el material del dique, de esta arenas no fue posible obtener una muestra inalterada para realizar ensayos de corte directo, sin embargo en este caso no fue posible obtener la muestra por la densidad medio suelta de este material en el sitio.

Como se mencionó anteriormente el contenido de finos de estas arenas y su estado suelto no permiten considerar que el comportamiento mecánico de las mismas esté afectado por cohesión. Por este motivo se considerará que la cohesión efectiva ( $c'$ ) de estas arenas es nula (0.0 kPa) y que el comportamiento del material estará netamente controlado por el ángulo de fricción interna.

Un resumen de la determinación del valor de  $\phi'$  por medio de la interpretación de ensayos SPT y el uso de correlaciones empíricas se presenta en la Tabla 6-29. En esta tabla se presentan las perforaciones en las que se detectó el estrato de arena y la profundidad a la que se encuentra el estrato.

**Tabla 6-29. Resumen del cálculo del ángulo de fricción interno  $\phi'$ , del peso unitario y del módulo de elasticidad (Es) por medio de correlaciones para el ensayo SPT para el depósito aluvial grueso compuesto por arenas limosas de grano fino.**

Perforación	Profundidad (m)		N60	Descripción de densidad	Promedio en el estrato			
	Inicial	Final			$\phi$ (°) Peck	$\phi$ (°) Peck, Hanson & Thornburn (1974)	$\gamma$ (kN/m³)	Es (MPa)
PT-DP-1	4.0	4.5	15	Medio Suelta	32	32	18	7,5
	4.5	5.0	12	Medio Suelta	32	31	18	6,8
	5.0	5.5	7	Suelta	30	29	18	5,5
	5.5	6.0	7	Suelta	30	29	18	5,5
	9.0	9.5	11	Medio Suelta	31	31	18	6,6
	9.5	10.0	12	Medio Suelta	32	31	18	6,8
	10.0	10.5	11	Medio Suelta	31	30	18	6,4
	10.5	11.0	11	Medio Suelta	31	30	18	6,4
	11.0	11.5	11	Medio Suelta	31	30	18	6,4
	11.5	12.0	11	Medio Suelta	31	30	18	6,4
	12.0	12.5	9	Suelta	31	30	18	6,1
	12.5	13.0	9	Suelta	31	30	18	6,1
Promedio			11		31	30	18	6,4
Máximo			15		32	32	18	7,5
Mínimo			7		30	29	18	5,5
Desviación estándar			2,21		0,55	0,79	0,00	0,55

Perforación	Profundidad (m)		N60	Descripción de densidad	Promedio en el estrato			
	Inicial	Final			$\phi$ (°) Peck	$\phi$ (°) Peck, Hanson & Thornburn (1974)	$\gamma$ (kN/m³)	Es (MPa)
Número de datos			12		12	12	12	12

Como se puede ver en la tabla los valores de  $\phi'$  obtenidos para este material son muy similares para los diferentes ensayos de SPT ejecutados en diferentes profundidades y congruentes con los que se espera para este tipo de material granular. El valor de medio del ángulo de fricción obtenido es de 30°.

## 6.8 PARÁMETROS DE DEFORMABILIDAD DE LOS MATERIALES

### 6.8.1 Módulos de elasticidad

El módulo de elasticidad (Es), que corresponde a la relación entre la deformación del material y la aplicación de esfuerzos en el rango elástico, se determinó para los materiales del dique y de los suelos de fundación por medio de correlaciones para el ensayo SPT. Estos fueron comparados y verificados con los valores de referencia para materiales similares presentados en la Tabla 6-30.

**Tabla 6-30. Criterio de valores típicos y del módulo de elasticidad (Es) para materiales cohesivos y materiales arenosos.**

Tipo de suelo	Descripción	Es (MPa)
Materiales cohesivos (arcillas y limos)	Blandas	1 – 15
	Firme	15 – 30
	Duras	30 - 100
Arenas	Sueltas	10 - 20
	Medio sueltas	20 - 40
	Densas	40 - 80

#### 6.8.1.1 Módulos de elasticidad Zona Geotécnica 1

En la Tabla 6-31 se presenta el resumen de los valores del módulo para las arcillas que conforman el cuerpo del dique y para las arcillas y limos de fundación respectivamente.

**Tabla 6-31. Resumen del cálculo del módulo de elasticidad (Es) por medio de correlaciones para el ensayo SPT para los diferentes materiales en la zona geotécnica 1.**

Prof. (m)	ZONA 1	Perforación	Profundidad del estrato (m)	N60	Promedio en el estrato		
					Es (MPa) Limos	Es (MPa) Arcillas	k (cm/s) Véase Numera 6.9
0,0	(Estructura del dique) Arcilla de baja plasticidad consistencia firme	Zona 1 PT-DP-2 y PT-DP-3	0.0 - 0.5	12		48,9	
			1.0 - 1.5	9		36,7	
1,5			1.5 - 2.0	4		16,3	
2,0			2.0 - 2.5	10		40,8	
	(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 1 consistencia blanda a firme		2.5 - 3.0	10		40,8	
			3.0 - 3.5	10		40,8	
			3.5 - 4.0	9		36,7	
4,0			4.0 - 4.5	12		48,9	
			4.5 - 5.0	11		44,8	
5,0	(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 1 compacidad medio suelta		5.0 - 5.5	8	4,2		
			5.5 - 6.0	12	5,4		
			6.0 - 6.5	7	3,9		
			6.5 - 7.0	5	3,3		
6,0	(Suelo de fundación) Arcilla de alta plasticidad consistencia firme		7.0 - 7.5	11		13,4	
			7.5 - 8.0	11		13,4	
			8.0 - 8.5	12		14,7	
			8.5 - 9.0	8		9,8	
			9.0 - 9.5	10		12,2	
			9.5 - 10.0	8		9,8	
9,0			10.0 - 10.5	10		12,2	
			10.5 - 11.0	10		12,2	
			11.0 - 11.5	9		11,0	
			11.5 - 12.0	8		9,8	
11,0	(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 2 consistencia firme		12.0 - 12.5	6	3,6		
			12.5 - 13.0	5	3,3		
			13.0 - 13.5	12	5,4		
13,0			14.0 - 14.0	11	5,1		
			14.0 - 14.5	18	7,2		
			14.5 - 15.0	17	6,9		
15,0							

La Tabla 6-31 muestra que los material limo de fundación presenta valores del módulo entre 3.3 y 7.2 MPa con un valor medio del módulo de este material de 4.8 MPa que corresponde a un material cohesivo de consistencia blanda (véase Tabla 6-30), que en general representa el estado actual del dique en esta zona. EL valor promedio obtenido para el limo de baja plasticidad se encuentra por debajo del esperado para un material de consistencia firme pero se considera apropiado.

Como se puede ver la misma tabla el módulo de elasticidad para el material aluvial de arcilla de baja plasticidad varía entre 36.6 y 48.9 MPa, que se consideran adecuados para este tipo de material teniendo en cuenta que este se encuentra blando en algunas zonas y en otras con consistencia firme. El valor promedio obtenido para este material es de 42.4 MPa.

### 6.8.1.2 Módulos de elasticidad Zona Geotécnica 2

En la Tabla 6-32 se presenta el resumen de los valores del módulo para las arcillas que conforman el cuerpo del dique y para las arcillas, limos y arenas de fundación respectivamente.

**Tabla 6-32. Resumen del cálculo del módulo de elasticidad (Es) por medio de correlaciones para el ensayo SPT para los diferentes materiales en la zona geotécnica 2.**

Prof. (m)	ZONA 2	Perforación	Profundidad del estrato (m)	N60	Promedio en el estrato			
					Es (MPa)	Es (MPa)	Es (MPa)	k (cm/s)
					Arenas	Limos	arcillas	Véase Numera 6.9
0	(Estructura del dique) Arcilla de baja plasticidad de consistencia firme	Zona 2 PT-DNP-1	0.0 - 0.5	10			40,8	
			1.0 - 1.5	15			61,1	
			1.5 - 2.0	12			48,9	
2,0	(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 1 consistencia firme		2.0 - 2.5	11			44,8	
			2.5 - 3.0	14			57,1	
			3.0 - 3.5	12			48,9	
			3.5 - 4.0	13			53,0	
4,0	(Suelo de fundación) Arena limosa 1 compacidad medio suelta		4.0 - 4.5	11	6,5			
			4.5 - 5.0	15	7,5			
			5.0 - 5.5	12	6,8			
			5.5 - 6.0	7	5,5			
6,0	(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 2 consistencia firme		6.0 - 6.5	7			28,5	
			6.5 - 7.0	11			44,8	
			7.0 - 7.5	7			28,5	
			7.5 - 8.0	12			48,9	
			8.0 - 8.5	17			69,3	
			8.5 - 9.0	17			69,3	
9,0	(Suelo de fundación) Arena limosa 2 compacidad medio suelta		9.0 - 9.5	16	7,8			
			9.5 - 10.0	11	6,5			
			10.0 - 10.5	12	6,8			
			10.5 - 11.0	11	6,5			
		11.0 - 11.5	11	6,5				
		11.5 - 12.0	11	6,5				
		12.0 - 12.5	11	6,5				
		12.5 - 13.0	9	6,0				
13,0	(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 2 consistencia firme	13.0 - 13.5	9		4,5			
		14.0 - 14.0	27		9,9			
		14.0 - 14.5	27		9,9			
		14.5 - 15.0	17		6,9			
15,0								

La Tabla 6-32 muestra que los material limo de fundación presenta valores del módulo entre 4.5 y 9.9 MPa con un valor medio del módulo de este material de 7.8 MPa que corresponde a un material cohesivo de consistencia blanda (véase Tabla 6-30), que en general representa el estado actual del dique en esta zona. EL valor promedio obtenido para el limo de baja plasticidad se encuentra por debajo del esperado para un material de consistencia firme pero se considera apropiado.



Como se puede ver la misma tabla el módulo de elasticidad para el material aluvial de arcilla varía entre 28.5 y 69.3 MPa, que se consideran adecuados para este tipo de material teniendo en cuenta que este se encuentra blando en algunas zonas y en otras con consistencia firme. El valor promedio obtenido para este material es de 49.3 MPa.

El valor del módulo de elasticidad para las arenas limosas que conforman el estrato aluvial grueso, obtenido a través de los ensayos SPT varía entre 5.5 y 7.8 MPa, lo que es representativo de arenas sueltas (véase Tabla 6-30). Debido a que las arenas en el sitio se encuentran sueltas a medio sueltas, se propone utilizar un valor medio de 6.6 MPa, valor que representa adecuadamente el estado de arenas en el sitio.

De acuerdo con los anteriores resultados, los módulos de elasticidad propuestos para los diferentes materiales corresponden a los presentados en la Tabla 6-33.

**Tabla 6-33. Módulos de elasticidad materiales de fundación del dique**

Material	Consistencia o descripción de densidad	w (%)	Peso unitario seco	Peso unitario húmedo	Módulo de elasticidad
			$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{hum}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$E_s$ (MPa)
(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 1	Medio firme a blanda	22	13.9	17.0	45
(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 2	Firme	22	14.3	17.5	48
(Suelo de fundación) Arcilla de alta plasticidad	Firme	21	13.1	15.6	12
(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 1	Media	24	14.4	17.9	4
(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 2	Firme	24	14.4	17.9	6
(Suelo de fundación) Arena Limosa 1	Medio Suelta	20	13.3	16.0	7
(Suelo de fundación) Arena limosa 2	Medio Suelta	20	13.3	16.0	7

## 6.8.2 Consolidación

Finalmente, aunque no se realizaron ensayos de consolidación, se estimaron los valores de índice de compresión virgen ( $C_c$ ) e índice de recompresión ( $Cr$ ), relacionados con los asentamientos por consolidación.

Estos índices fueron estimados a partir de correlaciones empíricas en función de propiedades índice propuestas por los autores relacionados en la Tabla 6-34. Las correlaciones seleccionadas fueron las propuestas por Nakase y otros, la cual relaciona el índice de plasticidad con  $C_c$  y  $Cr$ .

Tabla 6-34. Correlaciones empíricas para estimar  $C_c$  y  $C_r$

AUTOR	ECUACIÓN DE CORRELACIÓN
Terzaghi and Peck (1967)	$C_c = 0.009(w_L - 10) (\pm 30\% \text{ error})$
Azzouz et al. (1976)	$C_c = 0.37(e_o + 0.003w_L + 0.0004w_N - 0.34)$
Rendon-Herrero (1983)	$C_c = 0.141 G_s \left( \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{dry}} \right)^{2.4}$
Koppula (1981)	$C_c = 0.0093w_N$
Koppula (1981)	$C_c = -0.0997 + 0.009w_L + 0.0014I_P + 0.0036w_N + 0.1165e_o + 0.0025C_P$
Carrier (1985)	$C_c = 0.329[w_N G_s - 0.027w_P + 0.0133I_P(1.192 + C_P/I_P)]$
Nakase et al. (1988)	$C_c = 0.046 + 0.0104I_P$
Nagaraj and Srinivasa Murthy (1985, 1986)	$C_c = 0.00234w_L G_s$
Nishida (1956)	$C_c = 1.15(e_o - 0.35)$
Koppula (1986)	$C_c = 0.009w_N + 0.005w_L$
Al-Khafaji and Andersland (1992)	$C_c = -0.156 + 0.411e_o + 0.00058w_L$
Nagaraj and Srinivasa Murthy (1985)	$C_r = 0.000463w_L G_s$
Nakase et al. (1988)	$C_r = 0.00194(I_P - 4.6)$ $= 0.05 \text{ to } 0.1 C_c$

Dónde:

$w_L$ : Límite líquido

$e_o$ : Relación de vacíos

$w_N$ : Humedad natural

$\gamma_{sat}$ : Peso unitario saturado

$\gamma_{dry}$ : Peso unitario seco

$I_P$ : Índice de plasticidad

$C_P$ : Porcentaje de arcilla

$G_s$ : Peso específico del suelo

Adicionalmente a las anteriores correlaciones, según lo indicado por Bowles, el índice de recompresión puede estimarse como el 10% del índice de compresión  $C_c$ .

En la Tabla 6-35 se presenta el resumen de los resultados de los análisis de consolidación ejecutados sobre muestras de las arcillas limosas del suelo de fundación. En el Anexo F se presenta en detalle los resultados de los ensayos de consolidación ejecutados para este estudio.

**Tabla 6-35. Resumen de los parámetros Cc y Cr para el depósito fino compuesto por arcillas y limos en el suelo de fundación - Zona geotécnica 1**

Prof. (m)	ZONA 1	Perforación	Profundidad del estrato (m)	IP	Material fino (arcillas y limos)	
					Cc (-)	Cc (-)
0,0	(Estructura del dique) Arcilla de baja plasticidad consistencia firme	Zona 1 PT-DNP-2 y PT-DNP-3	0.0 - 0.5			
			1.0 - 1.5	9	0,142	0,01
1,5			1.5 - 2.0			
2,0			2.0 - 2.5			
	(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 1 consistencia blanda a firme		2.5 - 3.0			
			3.0 - 3.5			
			3.5 - 4.0			
4,0			4.0 - 4.5	7	0,119	0,01
			4.5 - 5.0			
5,0	(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 1 compacidad medio suelta		5.0 - 5.5			
			5.5 - 6.0			
			6.0 - 6.5			
			6.5 - 7.0			
6,0	(Suelo de fundación) Arcilla de alta plasticidad consistencia firme		7.0 - 7.5	27	0,329	0,044
			7.5 - 8.0			
			8.0 - 8.5			
			8.5 - 9.0			
			9.0 - 9.5			
			9.5 - 10.0	16	0,217	0,023
9,0			10.0 - 10.5			
			10.5 - 11.0	6	0,110	0,003
			11.0 - 11.5			
			11.5 - 12.0			
11,0	(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 2 consistencia firme		12.0 - 12.5			
			12.5 - 13.0			
			13.0 - 13.5			
13,0			14.0 - 14.0			
13,0			14.0 - 14.5			
			14.5 - 15.0			
15,0						

**Tabla 6-36. Resumen de los parámetros Cc y Cr para el depósito fino compuesto por arcillas y limos en el suelo de fundación - Zona geotécnica 2**

Prof. (m)	ZONA 2	Perforación	Profundidad del estrato (m)	IP	Material fino (arcillas y limos)	
					Cc (-)	Cc (-)
0,0	(Estructura del dique) Arcilla de baja plasticidad de consistencia firme	Zona 2 PT-DNP-1	0.0 - 0.5			
			1.0 - 1.5	11	0,165	0,013
			1.5 - 2.0			
1,5	(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 1 consistencia firme		2.0 - 2.5			
			2.5 - 3.0			
			3.0 - 3.5			
			3.5 - 4.0			
4,0	(Suelo de fundación) Arena limosa 1 compacidad medio suelta		4.0 - 4.5			
			4.5 - 5.0			
			5.0 - 5.5			
			5.5 - 6.0			
6,0	(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 2 consistencia firme		6.0 - 6.5			
			6.5 - 7.0			
			7.0 - 7.5	7	0,120	0,01
			7.5 - 8.0			
			8.0 - 8.5			
			8.5 - 9.0			
9,0	(Suelo de fundación) Arena limosa 2 compacidad medio suelta		9.0 - 9.5			
			9.5 - 10.0			
			10.0 - 10.5			
			10.5 - 11.0			
			11.0 - 11.5			
			11.5 - 12.0			
			12.0 - 12.5			
			12.5 - 13.0			
13,0	(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 2 consistencia firme		13.0 - 13.5			
			14.0 - 14.0			
			14.0 - 14.5			
			14.5 - 15.0			
15,0						

De acuerdo a los resultados que se presentan en la Tabla 6-35 y Tabla 6-36 se proponen los parámetros Cc y Cr presentados en la Tabla 6-37 para cada uno de los materiales de fundación.

**Tabla 6-37. Resumen parámetros para análisis de asentamientos.**

MATERIALES	Cc (-)	Cc (-)
(Estructura del dique) Arcilla de baja plasticidad	0,140	0,010
(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 1	0,200	0,020
(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 2	0,120	0,010
(Suelo de fundación) Arcilla de alta plasticidad	0,330	0,044
(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 1	No aplica	No aplica
(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 2	0,110	0,03
(Suelo de fundación) Arena Limosa 1	No aplica	No aplica
(Suelo de fundación) Arena limosa 2	No aplica	No aplica

## 6.9 PERMEABILIDAD DE LOS MATERIALES

Debido a que no se pudieron realizar pruebas de permeabilidad en campo ni en laboratorio por no disponer de muestras para tal fin, las permeabilidades utilizadas corresponden a valores de referencia obtenidos para materiales características similares en otras zonas de estudio de esta consultoría. Los parámetros de referencia corresponden a un amplio rango de resultados obtenidos en la zona del Dique Marginal al tramo entre Colorado y Nechí presentado en el documento "DIQUE 6 INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTRUCTURA", véase referencia [29]. En ese documento el criterio base empleado para verificar los resultados de ambas metodologías es el que se presenta en la Tabla 6-38.

**Tabla 6-38. Valores típicos de permeabilidad para materiales comunes.**

Tipo de Suelo	k (cm/s)
Gravas	>1.0
Arenas	$1.0 \cdot 10^{-3}$
Arenas finas, limos, suelos intermedios	$10^{-3} - 10^{-7}$
Arcillas homogéneas	$<10^{-7}$

Para los limos arenosos y arcillosos que conforman el cuerpo del dique, se esperan de acuerdo al estudio de referencia valores de permeabilidad de entre  $5.8 \times 10^{-7}$  y  $2.4 \times 10^{-5}$  cm/s, lo que se encuentra dentro del rango esperado para éste tipo de materiales. Teniendo en cuenta la clasificación realizada de dicho material, se considera adecuado adoptar el límite superior de las permeabilidades encontradas (i.e.  $2.4 \times 10^{-5}$  cm/s).

En cuanto al depósito aluvial fino de fundación, el rango de valores esperado varía entre  $3.1 \times 10^{-8}$  y  $1.5 \times 10^{-5}$  cm/s. Dichos valores se encuentran dentro del rango característico de éste tipo de materiales, sin embargo, teniendo en cuenta

la clasificación de éstos materiales de acuerdo a la carta de plasticidad de Casagrande se considera el valor máximo del rango como más apropiado. (i.e.  $1.5 \times 10^{-5}$  cm/s).

Para las arenas limosas que conforman el depósito aluvial de fundación se esperan permeabilidades que varíen entre  $2.4 \times 10^{-5}$  y  $3.7 \times 10^{-3}$  cm/s. Dichos valores se encuentran dentro del rango de arenas finas, limos y suelos intermedios. Teniendo en cuenta la baja presencia de suelos finos en éstas arenas se considera apropiado emplear permeabilidades que se encuentren cerca al límite superior del grupo de materiales mencionado.

**Tabla 6-39. Valores característicos de permeabilidad para materiales encontrados.**

Datos característicos del material	Permeabilidad (cm/s)
Limos arenosos	$5.8 \times 10^{-7}$ - $2.4 \times 10^{-5}$
Depósito aluvial fino	$3.1 \times 10^{-8}$ y $1.5 \times 10^{-5}$
Arenas limosas	$2.4 \times 10^{-5}$ y $3.7 \times 10^{-3}$

#### 6.10 VERIFICACIÓN DE LA DISPERSIVIDAD DEL MATERIAL FINO QUE CONFORMA EL CUERPO DEL DIQUE

Para la verificación de la dispersividad del material fino que conforma el cuerpo del dique se utilizó el criterio de Sherard et al. 1976, para el cual materiales cohesivos con IP mayor a 15% y con un límite líquido de entre 30 y 50% pueden corresponder a materiales de características dispersivas.

Al revisar los límites de consistencia del material que conforma el cuerpo del dique se encontró (como se describió en la Sección 6.3.1) que estos son de baja plasticidad. El índice de plasticidad (IP) en promedio es igual a 10% y se obtuvieron valores del límite líquido (LL) de hasta 32% máximo. Aunque estos valores están por debajo ( $IP < 15$ ) o son ligeramente superiores ( $LL > 30$ ), es probable que el material presente características dispersivas. Por lo tanto, para la fase de análisis y diseño se debe considerar esta característica del material. Se destaca de todas formas que para el proyecto de referencia "DIQUE 6 INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTRUCTURA", véase referencia [29] los resultados mostraron que para ese proyecto el material del cuerpo del dique es no dispersivo.



## 7. CONCLUSIONES

Luego de realizar la descripción y caracterización geométrica y geotécnica del dique 3 Pinillos se obtienen las siguientes conclusiones:

1. El dique en esta zona se encuentra visualmente en buenas condiciones y no presenta daños que disminuyan su funcionalidad como estructura de regulación de inundaciones. Su cresta no está recubierta con capa de rodadura ni presenta bombeo que ayuda a evacuar las aguas de escorrentía.
2. La cresta del dique tiene entre 2.0 y 4.0 m de ancho. En ningún sector presenta cunetas en los extremos de la vía.
3. El dique tiene un altura en este tramo que varía entre 1.2 y 3.0 m. Las caras del dique se encuentran protegidas en ambos costados con vegetación natural. Los taludes del dique en la mayor parte de este tramo se encuentran entre 2.5H:1V y 5.0H:1V. Un resumen de la caracterización geométrica se presenta en la siguiente tabla.

Zona	Abscisa inicio	Abscisa fin	Longitud (m)	Cara aguas arriba		Cara aguas arriba	
				Altura	Pendiente Talud	Altura	Pendiente Talud
Zona 1	k0+000	k0+040	40,00	3,0	2,5	1,7	4,0
Zona 2	k0+040	k0+180	140,00	3,0	2,5	1,7	3,0
Zona 3	k0+180	k0+294.1	114,10	2,0	2,5	1,7	4,0

4. El dique está conformado en todo este tramo con materiales arcillosos compactados de baja plasticidad de color marrón. Estos materiales son materiales de préstamo lateral.
5. Luego de la visita de inspección visual del dique se hizo una zonificación de este tramo del dique basado en varios criterios. Estos criterios incluyen pero no se limitan a: la altura del dique, la proximidad al río, el ancho de la cresta, la pendiente del talud, sus materiales de composición, y eventos o accidentes que presenten. De acuerdo a estos criterios el dique en este tramo fue dividido en tres (3) zonas.
6. El dique se encuentra muy cercano al río, a unos 40 m aproximadamente y se pudo apreciar con la visita que el flujo del agua del río socava las paredes de su borde y va en dirección al dique. Por lo cual se considera apropiado tener en cuenta este fenómeno para etapas posteriores de análisis y diseños.
7. Los suelos del sitio son de naturaleza predominantemente cohesiva. El terreno natural está conformado por un depósito aluvial fino de arcilla limosa con capas intercaladas de arena de grano fino y limos, su consistencia es predominantemente firme (N60=10-13 golpes/pie).
8. Los materiales que conforman el cuerpo del dique y el depósito aluvial en la fundación son de baja plasticidad. Esto pudo apreciarse al plasmar los valores de los límites de consistencia de estos materiales en la carta de Casagrande. Debido a que estos materiales son de baja plasticidad presentan sensibilidad a los cambios de humedad, encontrándose muy secos cuando se encuentran sobre el nivel freático y muy húmedos cuando se encuentran sumergidos.

9. Los potenciales de expansión de los suelos finos que conforman el dique y el subsuelo son bajos, es de esperar también para estos materiales valores de permeabilidad muy bajos.
10. Las arcillas que conforman el cuerpo del dique tienen una consistencia firme con valores de N60 de alrededor de 10 golpes/pie. El suelo aluvial fino de fundación (arcillas y limos) presentó un estado de consistencia firme con valores de N60 de alrededor de 10 golpes/pie. Las arenas presentan un valor medio de N60 de 12 golpes/pie, lo que la clasifica como una arena de compacidad medio suelta. La caracterización geomecánica de los materiales se realizó para estas características predominantes. La caracterización geomecánica de los materiales se realizó para estas características predominantes.
11. Las arenas presentan un valor medio de N60 de 12 golpes/pie, lo que la clasifica como una arena de compacidad medio suelta. La caracterización geomecánica de los materiales se realizó para estas características predominantes.
12. Sobre el dique no se realizaron ensayos de contenido de materia orgánica, estos fueron realizados para los materiales de fundación. Sin embargo, estos resultados se pueden extrapolar al cuerpo de dique ya que este se construyó con material de préstamo lateral. Por lo tanto, el contenido de materia orgánica obtenido para estos es suficiente para considerar que el material que compone el cuerpo del dique debe ser revisado con mayor detalle y deban remplazarse las zonas donde el contenido de materia orgánica sea superior al 10%. Según el criterio del INVIAS el material que conforma el cuerpo de un terraplén vial debe tener un contenido de materia orgánica inferior al 2% para considerarse tolerable o adecuado, véase Tabla 6-6. Sin embargo, un material seleccionado con un contenido de materia orgánica tan bajo puede ser de difícil consecución en la zona y puede hacerse inviable para el proyecto. Estructuras térreas con contenidos de materia orgánica de hasta el 10% han sido construidas en la Sabana de Bogotá, que no han presentado problemas en su comportamiento ante la aplicación de cargas.
13. Con base en la descripción de los materiales presentes en la fundación de esta zona se realizó la zonificación geotécnica de este tramo del dique. Se obtuvieron de manera general dos (2) zonas. La zona 1 está compuesta primordialmente por arcillas de consistencia firme acompañadas estratos importantes de arena. En la segunda está constituida en toda su extensión por material fino predominantemente arcillas. A profundidades mayores a 13.0m se encuentra un estrato de limos de baja plasticidad.
14. El nivel freático en el suelo de fundación se determinó haciendo mediciones frecuentes en la exploraciones con recobro ejecutadas en la zona. Se encontró que el nivel freático se encuentra a profundidades desde la cresta del dique de entre 4.0 y 5.0 m.
15. Por medio de correlaciones para los ensayos de SPT y de correlaciones empíricas se determinó la resistencia al corte no drenado del material del cuerpo del dique y del suelo fino de fundación.

#### **Zona geotécnica 1**

Arcilla de baja plasticidad firme (cuerpo del dique)	Su=50 kPa
Arcillas de baja plasticidad firme a blanda (Aluvial fino de fundación - estrato superficial)	Su=25 kPa
Arcillas de baja plasticidad firme (Aluvial fino de fundación - estrato superficial)	Su=50 kPa
Arcillas de alta plasticidad firme (Aluvial fino de fundación - estratos intermedios)	Su=60 kPa
Limo de baja plasticidad firme (Aluvial fino de fundación - estrato profundo)	Su=50 kPa

## Zona geotécnica 2

Arcilla de baja plasticidad firme (cuerpo del dique)	Su=50 kPa
Arcillas de baja plasticidad 1 firme (Aluvial fino de fundación - estrato superficial)	Su=25 kPa
Arcillas de baja plasticidad 2 firme (Aluvial fino de fundación - estratos intermedios)	Su=50 kPa
Limo de baja plasticidad (Aluvial fino de fundación - estrato profundo)	Su=50 kPa

16. La resistencia al corte drenado de los materiales se determinó por medio de ensayos de corte directo consolidado drenado, por medio de correlaciones para el ensayo SPT y por medio de correlaciones empíricas. La caracterización del material del cuerpo del dique y de los materiales finos de fundación arrojó un valor de  $\phi'$  de alrededor de  $33^\circ$  y una cohesión efectiva de 35.0 kPa. Para las arenas, que fueron caracterizadas por medio de correlaciones para el ensayo SPT se obtuvo un valor de  $\phi'$  de  $30^\circ$ . La cohesión de las arenas finas se consideró nula por tratarse de un material medio suelto y con bajo contenido de finos.
17. Los valores de módulo de elasticidad ( $E_s$ ) fueron establecidos por medio de correlaciones y los ensayos SPT, que arrojan valores de alrededor de 35.0 MPa, que varía desde 13.3 hasta 35.6 MPa tanto para el material del cuerpo del dique como para el aluvial fino de fundación. Para los aluviales gruesos compuestos por arenas limosas en estado medio suelto el valor promedio obtenido es 6.7 MPa, variando entre 5.4 y 8.0 MPa. Estos son en todos los casos congruentes con los valores esperados en cada tipo de material.
18. Los diferentes valores de propiedades índice muestran que el dique presenta resistencia a la erosión ante la presencia de agua, por lo que el material que lo compone se clasifica como no dispersivo.
19. Debido a que no se pudieron realizar pruebas de permeabilidad en campo ni en laboratorio por no disponer de muestras para tal fin, las permeabilidades utilizadas corresponden a valores de referencia obtenidos para materiales características similares en otras zonas de estudio de esta consultoría. Los parámetros de referencia corresponden a un amplio rango de resultados obtenidos en la zona del Dique Marginal al tramo entre Colorado y Nechí presentado en el documento "DIQUE 6 INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTRUCTURA", véase referencia [29]. Estos valores se resumen en el siguiente cuadro.

Datos característicos del material	Permeabilidad (cm/s)
Limos arenosos	$5.8 \times 10^{-7}$ - $2.4 \times 10^{-5}$
Depósito aluvial fino	$3.1 \times 10^{-8}$ y $1.5 \times 10^{-5}$
Arenas limosas	$2.4 \times 10^{-5}$ y $3.7 \times 10^{-3}$

20. Se relacionaron las zonificaciones tanto geométrica como geotécnica con el fin de generar una zonificación global. Dicha distribución se presenta a continuación:

Dique 3 Pinillos			
Zona global	Zona geométrica	Zona Geotécnica	Abscisa
Zona 3	Zona 3	Zona 2	K0 + 180 - K0 + 294.1
Zona 2	Zona 2	Zona 1	K0 + 040 - K0 + 180
Zona 1	Zona 1	Zona 1	K0 + 000 - K0 + 040

21. En la tabla se presenta un resumen que contiene los tres tipos de materiales encontrados con sus respectivos resultados de ensayos de laboratorio (parámetros analizados), para este tramo del dique.

Material	Consistencia o descripción de densidad	w (%)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{hum}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Resistencia al corte no drenado	Resistencia al corte en términos de esfuerzos efectivos		Permeabilidad
					Su (kPa)	c' (kPa)	$\phi'$ (°)	
(Estructura del dique) Arcilla de baja plasticidad	Firme	10	15.9	17.5	50.0	35.0	33	1.5x10 <sup>-5</sup>
(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 1	Medio firme a blanda	22	13.9	17.0	25.0	20.0	16	2.4x10 <sup>-5</sup>
(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad 2	Firme	22	14.3	17.5	25.0	28.0	33	2.4x10 <sup>-5</sup>
(Suelo de fundación) Arcilla de alta plasticidad	Firme	21	13.1	15.6	60.0	34.0	29	2.4x10 <sup>-5</sup>
(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 1	Media	24	14.4	17.9	NA	NA	30	5.0x10 <sup>-4</sup>
(Suelo de fundación) Limo de baja plasticidad 2	Firme	24	14.4	17.9	50.0	0.0	27	2.4x10 <sup>-5</sup>
(Suelo de fundación) Arena Limosa 1	Medio Suelta	20	13.3	16.0	NA	0.0	30	6.7x10 <sup>-3</sup>
(Suelo de fundación) Arena limosa 2	Medio Suelta	20	13.3	16.0	NA	0.0	30	6.7x10 <sup>-3</sup>

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

22. Ecovias S.A.S. INTERVENTORÍA PARA LA URGENCIA MANIFIESTA PRESENTADA EN LOS SITIOS EL CERRO SANTA ANITA, RÍO CAUCA, MUNICIPIO DE NECHÍ, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, REGIÓN DE LA MOJANA Y REFORZAMIENTO DE LAS OBRAS EN EL SITIO JOSÉ BRAVO, RÍO CAUCA, MUNICIPIO DE MAJAGUAL... Informe Ejecutivo, INVIAS, 2012.
23. Servicio geológico Colombiano. «Plancha 73.» s.f.
24. Servicio geológico Colombiano. «Plancha 73.» s.f.
25. Suelos Ingeniería. «EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NÚCLEO DE LA REGIÓN DE LA MOJANA, QUE PERMITA OBTENER UN DIAGNOSTICO DETALLADO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LAS CITADAS ESTR.» Informe de avance, Barranquilla, 2015.
26. Universidad del Norte. «ESTUDIOS HIDRAULICOS, SEDIMENTOLOGICOS Y MORFOLOGICOS, CON ENFASIS EN MODELACIÓN MATEMATICA, RELACIONADOS CON EL PLAN INTEGRAL DE INTERVENCIÓN A CORTO Y LARGO PLAZO ENTRE COLORADO (ANTIOQUIA) Y ACHI (BOLIVAR).» Informe Ejecutivo, Barranquilla, 2012.
27. Universidad Nacional de Medellín. «Control de inundación en la región de la Mojana.» Informe Ejecutivo, Medellín, 2002.
28. Universidad Nacional. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Bogotá: Instituto Nacional de Vías, 2006.
29. Suelos Ingeniería. «EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NÚCLEO DE LA REGIÓN DE LA MOJANA, QUE PERMITA OBTENER UN DIAGNOSTICO DETALLADO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LAS CITADAS ESTRUCTURAS.» Informe de avance «DIQUE 6 INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOMÉTRICA Y GEOTÉCNICA DE LA ESTRUCTURA», Barranquilla, 2015.
30. al, J. J. (1981). *Geotecnia y Cimientos II*. Madrid: Editorial Rueda.
31. Association of Swiss Road and Traffic Engineers. (2010). *Swiss Standard SN 670 010b*. Manual, Bern.
32. ASTM. (2011). *Standard Practice for Classification of soils for Engineering Purposes (USCS=*. AST International.
33. Budhu, M. (2007). *Soil mechanics and foundations*. Wiley.
34. Carter, M., & Bentley, S. (1991). *Correlations of soil properties*. Londres: Penetech Press Publishers.
35. Covo, A. (2003). *Introducción a la Mecánica de Suelos*. Cartagena.
36. Huang, P.-T., Patel, M., Satagata, M., & Bobet, A. (2008). *Classification of organic soils*. Purdue University. West Lafayette: School of civil engineering.

37. Indiana Department of Transportation. (28 de Julio de 2010). *Geotechnical services*. Recuperado el 15 de Abril de 2015, de [www.in.gov/indot/2804.htm](http://www.in.gov/indot/2804.htm)
38. INVIAS. (2007). *Artículo 220-07 Especificaciones Terraplenes*. Bogotá: INVIAS.
39. Koloski, J., Sigmund, D., & Tubbs, D. (1989). *Geotechnical properties of geologic materials*. Washington: Engineering geology in Washington.
40. Lunne, T., Robertson, P., & Powell, J. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. New York: Spon Press.
41. Minnesota Department of Transportation. (2007). *Pavement Design*. Manual, Saint Paul, Minnesota.
42. Obrzud R. & Truty, A. (2012). *THE HARDENING SOIL MODEL - A PRACTICAL GUIDEBOOK Z Soil*. Reporte.
43. Sherard, J., Woodward, R., Gizienski, S., & Clevenger, W. A. (1963). *Earth-Rock Dams*. Estados Unidos: John Wiley & Sons.
44. ALVAREZ, 1983. Geología de la Cordillera Central y Occidente Colombiano y petroquímica de los intrusivos granitoides Mezocenozóicos. Ph.d. Thesis Uni. Chile, Bal.Gcol. Ingeominas Bogotá.
45. BARRERO, D., et al., (1969). Actividad Ígnea y Tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico. Boletín Geológico. Vol. 17 N°. 1-3. pp 145-173. Bogotá.
46. BOGOTÁ, J. Y ALUJA, J., (1981). Geología de la Serranía de San Lucas. Geología Norandina, v. 4. Bogotá.
47. CAÑON, Y. Y MOJICA, J. (1997). Evaluación Metalúrgica de la Mina La Chiva. San Martín de Loba, Sur de Bolívar. INGEOMINAS. Informe Final P96Q05. 62 p. Cali.
48. CEDIEL, F. et al, (1981). Las formaciones Luisa, Payandé y Saldaña, sus columnas estratigráficas características. Geología Norandina, 3, mayo, 1981. Bogotá.
49. CLAVIJO, J., (1996). Mapa geológico de Colombia, Plancha 75 – Aguachica. INGEOMINAS. Memoria explicativa, pp. 1-48. Bucaramanga.
50. DACONTE, R Y SALINAS, R. (1980). Geología de las Planchas 66 Miraflores y 76 Ocaña.
51. INGEOMINAS. Informe 1844. 105 p. Bogotá.
52. DE LA ESPRIELLA, R. (1960). Investigaciones Mineras de la Región del Bajo Magdalena, Hierro en Barranco de Loba, Bolívar., Yeso en el Banco, Magdalena y Oro en San Martín de Loba, Bolívar. Min. Minas. Informe 1365. 17 p. Bogotá.
53. ECOPETROL-ICP, 1998. Evaluación regional del cretáceo de plataforma en el Valle Medio del Magdalena.
54. EFREMOVA, C.; STAFIEV, K. (1985). Métodos Petroquímicos de Estudio de las Rocas. Ed. Niedra (Moscú). (En Ruso).
55. ETAYO-SERNA, et al. 1976. Contornos sucesivos del mar Cretáceo en Colombia. En: Memoria del primer congreso colombiano de geología. 217-220 pp. Bogotá.
56. ETAYO, F. et al., (1983). (Publicado en 1986). Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Pub. Geol. Especial INGEOMINAS No. 14-1:1-235. Bogotá.



57. GALVIS, J., 1990. Génesis mineral en Colombia. Rev. Acad. Col. Cien. Exac. Fís. Nat., 17(67):753-777. Bogotá.
58. GALVIS, J. Y DE LA ESPRIELLA, R., (1992). Vulcanismo Terciario al Sur de la Isla de Mompox (Parte Nororiental de la Serranía de San Lucas). Revista de la academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Vol XVIII. No 70, pp. 359-367. Bogotá.
59. INGEOMINAS, 1994. Clasificación de los Minerales de Colombia. Tomo XIX. i. 1904. 36 pág.
60. MAYA, M; GONZÁLEZ, H., (1995): Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. INGEOMINAS, Bol. Geol., 35(2-3):43-57. Santa Fe de Bogotá.
61. RIVERA, L. Y GRANADOS, L., (1981). Morfología fluvial del Río Magdalena en el sector "San Pablo - Badillo". Revista CIAF, V. 6 (1-3), pp 487 - 503
62. ROYERO, J. M., (1997). Mapa geológico de Colombia. Plancha 65 - Tamalameque. INGEOMINAS. Memoria explicativa, pp. 1-53. Bucaramanga
63. ROYERO, J. M. Y CLAVIJO, J., (2002). Mapa Geológico del Departamento de Bolívar, Escala 1:400.000. INGEOMINAS. Memoria explicativa, pp. 1-99. Bucaramanga.
64. SOCIEDAD KEDAHDA, S. A. COLOMBIA. (2004). Curso de capacitación sobre principios básicos de geología y exploración aurífera. Barranco de Loba-Santa Cruz, Bolívar. Colombia.
65. TOUSSAINT, J. Y RESTREPO, J., (1976). Modelos orogénicos de tectónica de placas de los Andes colombianos. Bol. Ciencias de la tierra. Univ. Nacional. Medellín. p. 1-47.
66. TOUSSAINT, J. Y RESTREPO, J. (1982). Metamorfismos Superpuestos en la Cordillera Central de Colombia. Quinto Congreso Latinoamericano de Geología. Memoria, pp 505-512. Argentina.
67. TOUSSAINT, J.F., (1993). Evolución Geológica de Colombia. Universidad Nacional.
68. TSCHANZ, CH. et al., (1969). Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia.
69. Ingeominas, informe interno No. 1829. Bogotá.

## **ANEXO A.**

# **FORMATOS DE INSPECCIÓN DE CAMPO**

**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 1/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa		
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W 0892021 074748314	
Tipo de estructura	Dique	x	Muro	Protección de orilla	Espigones	
Relieve en vecindades	Plano	x	Ondulado	Montañoso	Escarpado	
Uso del terreno en vecindades	Ganadería	x	Industria/ Minero	Agrícola	x Urbano	
Cruces o carretables	Si	x	No			
Estado en general de la estructura en el punto	Bueno	x	Regular		Malo	
Funcionamiento de la estructura	Normal	x	Deficiente		Malo	
Evidencia de socavación aguas arriba	Si	x	No			
Evidencia de socavación aguas abajo	Si		No	x		
Observaciones socavación	Se socabó con maquinaria para hacer rampa					
Falla, hundimiento o deterioro en la cresta	Si		No			
Observaciones daños en la cresta	Se observa batea para coger material y hacer rampa					
Factores que afectan la integridad	Filtraciones		Invasión	Corrientes	Deslizamiento	Otras
	Caída de árbol u otros		Escorrentías	Const. Obras	Falla geotécnica	
	Cual otra o detalles					
Tipo de hallazgo	Hueco		Hundimiento	Cárcava	Deslizamiento	Falla geotécnica
	Socavación		Surco	Tubificación	Desprendimiento parcial	Otras
	Cual otra o detalles					
Observaciones adicionales	Socavación normal del río y la hecha por la rampa					
Recomendaciones						

**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 2/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa	
-------	------------	-------------------------	-----------------	---------	--

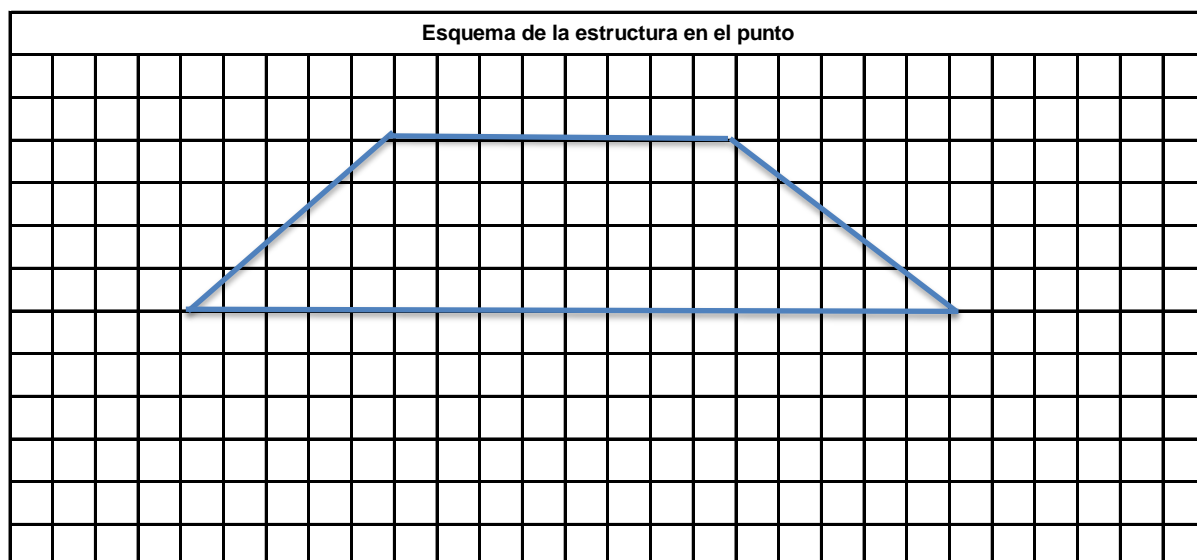
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W	892021 07448314
---------------	----------	--------------------------	---------	-------------	--------	--------------------

Descripción geométrica de la estructura	Ancho (m)	9.8	Alto (m)	1.5	Largo (m)	
	Cresta (m)	4.9	Pata (m)			

Protección en la cara	Si		No	x	Tipo de protección	
	Descripción de tipo y estado de protección					Se observan sacos

Estructura compuesta de varios materiales o zonas	Si	x	No		Número de zonas	
	Descripción o notas de la composición de las estructuras					

Descripción geotécnica de los materiales que componen la estructura	Material 1	Arcilla limosa gris
	Material 2	
	Material 3	



**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 1/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa						
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W 0891761 07447926					
Tipo de estructura	Dique	<input checked="" type="checkbox"/>	Muro	Protección de orilla	<input type="checkbox"/> Espigones					
Relieve en vecindades	Plano	<input checked="" type="checkbox"/>	Ondulado	Montañoso	<input type="checkbox"/> Escarpado					
Uso del terreno en vecindades	Ganadería	<input checked="" type="checkbox"/>	Industria/Minero	Agrícola	<input checked="" type="checkbox"/> Urbano					
Cruces o carretables	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>						
Estado en general de la estructura en el punto	Bueno	<input checked="" type="checkbox"/>	Regular	<input type="checkbox"/>	Malo					
Funcionamiento de la estructura	Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Deficiente	<input type="checkbox"/>	Malo					
Evidencia de socavación aguas arriba	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>						
Evidencia de socavación aguas abajo	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>						
Observaciones socavación										
Falla, hundimiento o deterioro en la cresta	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>						
Observaciones daños en la cresta										
Factores que afectan la integridad	Filtraciones	<input type="checkbox"/>	Invasión	<input type="checkbox"/>	Corrientes	<input type="checkbox"/>	Deslizamiento	<input type="checkbox"/>	Otras	<input type="checkbox"/>
	Caída de árbol u otros	<input type="checkbox"/>	Escorrentías	<input type="checkbox"/>	Const. Obras	<input type="checkbox"/>	Falla geotécnica	<input type="checkbox"/>		
	Cual otra o detalles									
Tipo de hallazgo	Hueco	<input type="checkbox"/>	Hundimiento	<input type="checkbox"/>	Cárcava	<input type="checkbox"/>	Deslizamiento	<input type="checkbox"/>	Falla geotécnica	<input type="checkbox"/>
	Socavación	<input type="checkbox"/>	Surco	<input type="checkbox"/>	Tubificación	<input type="checkbox"/>	Desprendimiento parcial	<input type="checkbox"/>	Otras	<input type="checkbox"/>
	Cual otra o detalles									
Observaciones adicionales	El dique se encuentra en buen estado									
Recomendaciones										

**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 2/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa	
-------	------------	-------------------------	-----------------	---------	--

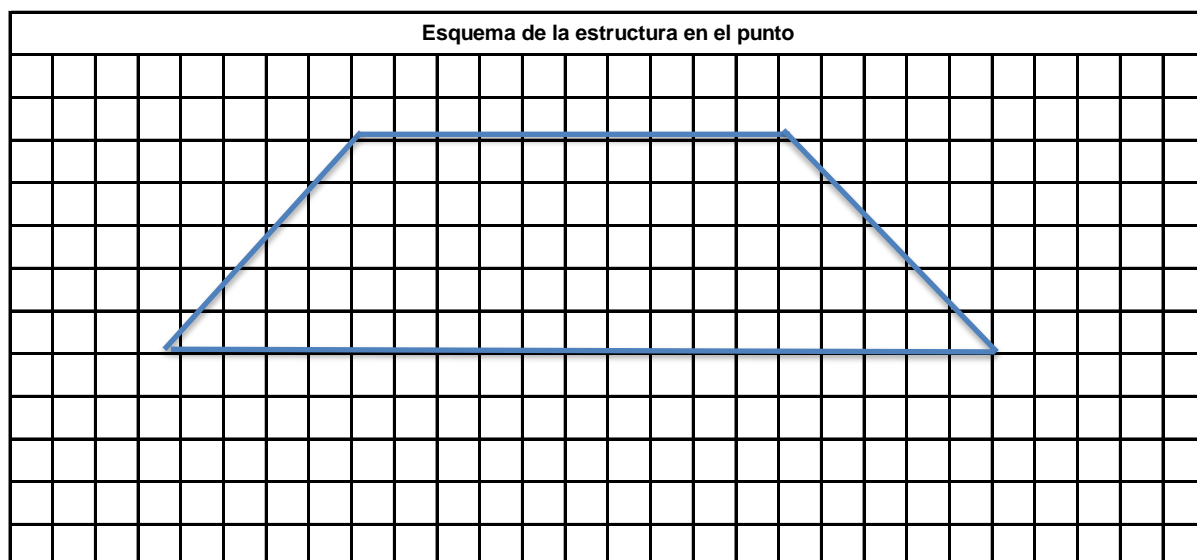
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W	0891761 07447926
---------------	----------	--------------------------	---------	-------------	--------	---------------------

Descripción geométrica de la estructura	Ancho (m)	11.5	Alto (m)	1.7	Largo (m)	
	Cresta (m)	5.0	Pata (m)			

Protección en la cara	Si		No	x	Tipo de protección	
	Descripción de tipo y estado de protección					Se observan sacos

Estructura compuesta de varios materiales o zonas	Si	x	No		Número de zonas	
	Descripción o notas de la composición de las estructuras					

Descripción geotécnica de los materiales que componen la estructura	Material 1	Arcilla limosa gris
	Material 2	
	Material 3	





**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 1/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa		
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W 0892021 074748314	
Tipo de estructura	Dique	x	Muro	Protección de orilla	Espigones	
Relieve en vecindades	Plano	x	Ondulado	Montañoso	Escarpado	
Uso del terreno en vecindades	Ganadería	x	Industria/Minero	Agrícola	x Urbano	
Cruces o carretables	Si	x	No			
Estado en general de la estructura en el punto	Bueno	x	Regular		Malo	
Funcionamiento de la estructura	Normal	x	Deficiente		Malo	
Evidencia de socavación aguas arriba	Si		No	x		
Evidencia de socavación aguas abajo	Si		No	x		
Observaciones socavación						
Falla, hundimiento o deterioro en la cresta	Si		No			
Observaciones daños en la cresta	Se observa batea para coger material y hacer rampa					
Factores que afectan la integridad	Filtraciones		Invasión	Corrientes	Deslizamiento	Otras
	Caída de árbol u otros		Escorrentías	Const. Obras	Falla geotécnica	
	Cual otra o detalles					
Tipo de hallazgo	Hueco		Hundimiento	Cárcava	Deslizamiento	Falla geotécnica
	Socavación		Surco	Tubificación	Desprendimiento parcial	Otras
	Cual otra o detalles					
Observaciones adicionales	Aquí hubo rompimiento del dique, rotura e inundación en el 2014					
Recomendaciones						

**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 2/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa	
-------	------------	-------------------------	-----------------	---------	--

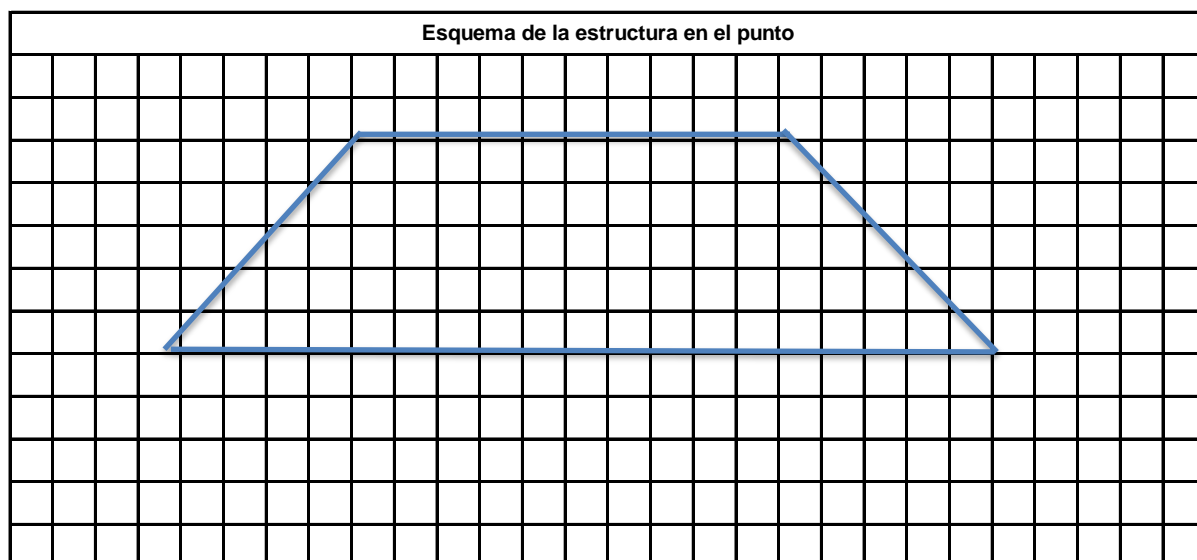
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W	0891761 07447926
---------------	----------	--------------------------	---------	-------------	--------	---------------------

Descripción geométrica de la estructura	Ancho (m)	11.5	Alto (m)	1.7	Largo (m)	
	Cresta (m)	5.0	Pata (m)			

Protección en la cara	Si		No	x	Tipo de protección	
	Descripción de tipo y estado de protección					Se observan sacos

Estructura compuesta de varios materiales o zonas	Si	x	No		Número de zonas	
	Descripción o notas de la composición de las estructuras					

Descripción geotécnica de los materiales que componen la estructura	Material 1	Arcilla limosa gris
	Material 2	
	Material 3	



**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 1/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa						
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W 0891830 07446639					
Tipo de estructura	Dique	x	Muro	Protección de orilla	Espigones					
Relieve en vecindades	Plano	x	Ondulado	Montañoso	Escarpado					
Uso del terreno en vecindades	Ganadería	x	Industria/Minero	Agrícola	x Urbano					
Cruces o carretables	Si	x	No							
Estado en general de la estructura en el punto	Bueno	x	Regular		Malo					
Funcionamiento de la estructura	Normal	x	Deficiente		Malo					
Evidencia de socavación aguas arriba	Si		No	x						
Evidencia de socavación aguas abajo	Si		No	x						
Observaciones socavación										
Falla, hundimiento o deterioro en la cresta	Si		No							
Observaciones daños en la cresta										
Factores que afectan la integridad	Filtraciones		Invasión		Corrientes		Deslizamiento		Otras	
	Caída de árbol u otros		Escorrentías		Const. Obras		Falla geotécnica			
	Cual otra o detalles									
Tipo de hallazgo	Hueco		Hundimiento		Cárcava		Deslizamiento		Falla geotécnica	
	Socavación		Surco		Tubificación		Desprendimiento parcial		Otras	
	Cual otra o detalles									
Observaciones adicionales										
Recomendaciones										

**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 2/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa	
-------	------------	-------------------------	-----------------	---------	--

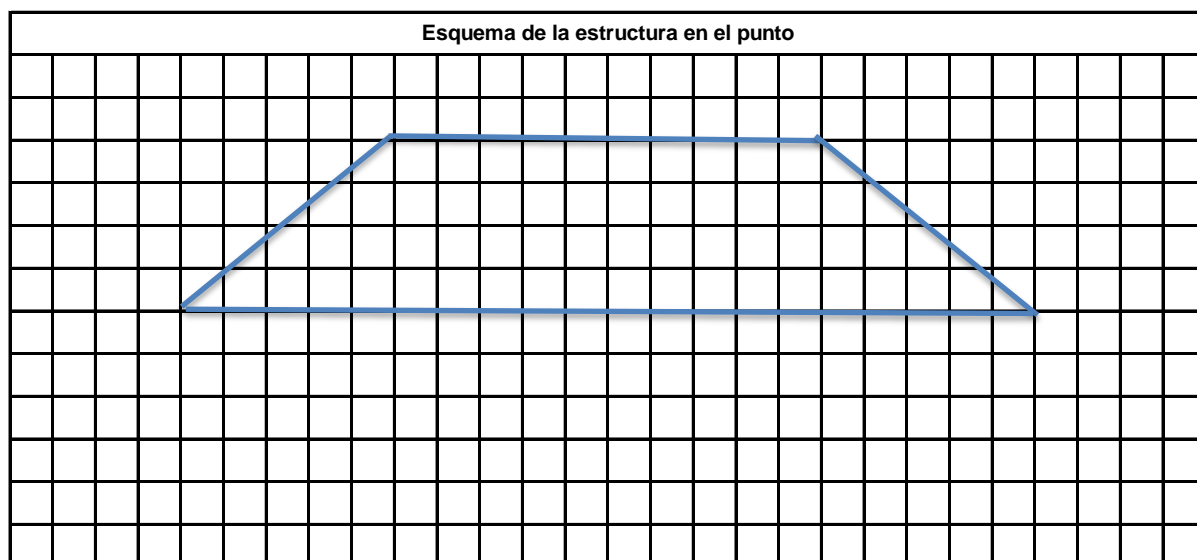
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W	0891830 07446639
---------------	----------	--------------------------	---------	-------------	--------	---------------------

Descripción geométrica de la estructura	Ancho (m)	17.4	Alto (m)	1.5	Largo (m)	
	Cresta (m)	7	Pata (m)			

Protección en la cara	Si		No	x	Tipo de protección	
	Descripción de tipo y estado de protección					Se observan sacos

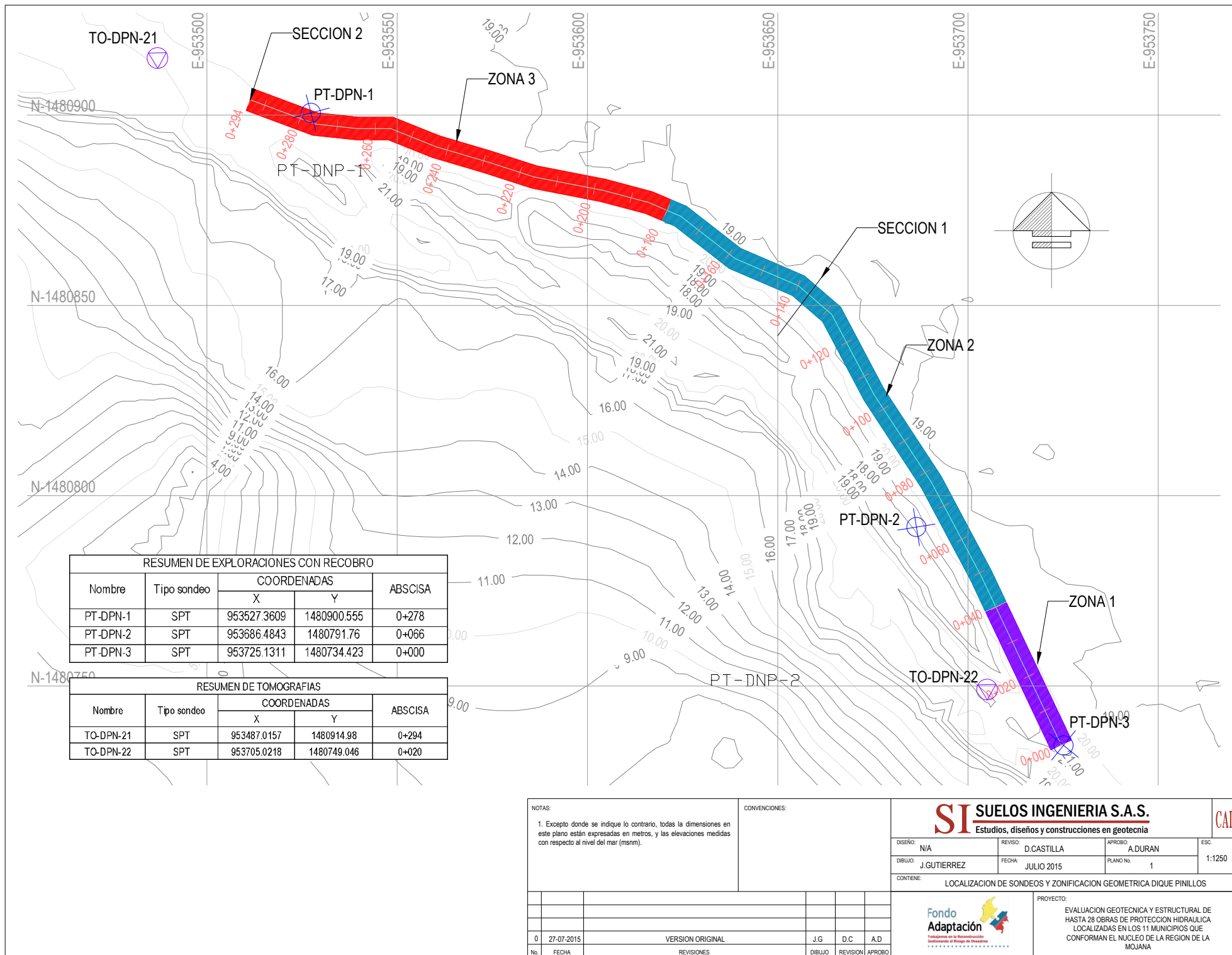
Estructura compuesta de varios materiales o zonas	Si	x	No	x	Número de zonas	
	Descripción o notas de la composición de las estructuras					

Descripción geotécnica de los materiales que componen la estructura	Material 1	Arcilla limosa gris
	Material 2	
	Material 3	



## **ANEXO B.**

### **PLANOS EN PLANTA DE ZONIFICACIÓN DEL DIQUE Y LOCALIZACIÓN DE PERFORACIONES**





## **ANEXO A.**

# **FORMATOS DE INSPECCIÓN DE CAMPO**

**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 1/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa		
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W 0892021 074748314	
Tipo de estructura	Dique	x	Muro	Protección de orilla	Espigones	
Relieve en vecindades	Plano	x	Ondulado	Montañoso	Escarpado	
Uso del terreno en vecindades	Ganadería	x	Industria/ Minero	Agrícola	x Urbano	
Cruces o carretables	Si	x	No			
Estado en general de la estructura en el punto	Bueno	x	Regular		Malo	
Funcionamiento de la estructura	Normal	x	Deficiente		Malo	
Evidencia de socavación aguas arriba	Si	x	No			
Evidencia de socavación aguas abajo	Si		No	x		
Observaciones socavación	Se socabó con maquinaria para hacer rampa					
Falla, hundimiento o deterioro en la cresta	Si		No			
Observaciones daños en la cresta	Se observa batea para coger material y hacer rampa					
Factores que afectan la integridad	Filtraciones		Invasión	Corrientes	Deslizamiento	Otras
	Caída de árbol u otros		Escorrentías	Const. Obras	Falla geotécnica	
	Cual otra o detalles					
Tipo de hallazgo	Hueco		Hundimiento	Cárcava	Deslizamiento	Falla geotécnica
	Socavación		Surco	Tubificación	Desprendimiento parcial	Otras
	Cual otra o detalles					
Observaciones adicionales	Socavación normal del río y la hecha por la rampa					
Recomendaciones						

**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 2/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa	
-------	------------	-------------------------	-----------------	---------	--

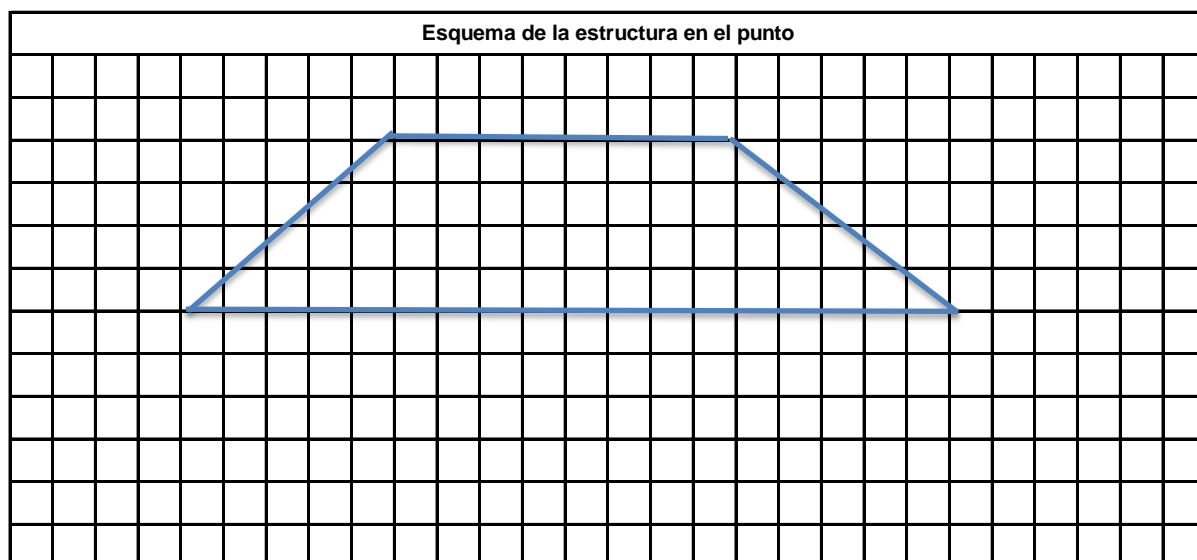
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W	892021 07448314
---------------	----------	--------------------------	---------	-------------	--------	--------------------

Descripción geométrica de la estructura	Ancho (m)	9.8	Alto (m)	1.5	Largo (m)	
	Cresta (m)	4.9	Pata (m)			

Protección en la cara	Si		No	x	Tipo de protección	
	Descripción de tipo y estado de protección					Se observan sacos

Estructura compuesta de varios materiales o zonas	Si	x	No		Número de zonas	
	Descripción o notas de la composición de las estructuras					

Descripción geotécnica de los materiales que componen la estructura	Material 1	Arcilla limosa gris
	Material 2	
	Material 3	



**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 1/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa						
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W 0891761 07447926					
Tipo de estructura	Dique	<input checked="" type="checkbox"/>	Muro	Protección de orilla	<input type="checkbox"/> Espigones					
Relieve en vecindades	Plano	<input checked="" type="checkbox"/>	Ondulado	Montañoso	<input type="checkbox"/> Escarpado					
Uso del terreno en vecindades	Ganadería	<input checked="" type="checkbox"/>	Industria/Minero	Agrícola	<input checked="" type="checkbox"/> Urbano					
Cruces o carretables	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>						
Estado en general de la estructura en el punto	Bueno	<input checked="" type="checkbox"/>	Regular	<input type="checkbox"/>	Malo					
Funcionamiento de la estructura	Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Deficiente	<input type="checkbox"/>	Malo					
Evidencia de socavación aguas arriba	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>						
Evidencia de socavación aguas abajo	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>						
Observaciones socavación										
Falla, hundimiento o deterioro en la cresta	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>						
Observaciones daños en la cresta										
Factores que afectan la integridad	Filtraciones	<input type="checkbox"/>	Invasión	<input type="checkbox"/>	Corrientes	<input type="checkbox"/>	Deslizamiento	<input type="checkbox"/>	Otras	<input type="checkbox"/>
	Caída de árbol u otros	<input type="checkbox"/>	Escorrentías	<input type="checkbox"/>	Const. Obras	<input type="checkbox"/>	Falla geotécnica	<input type="checkbox"/>		
	Cual otra o detalles									
Tipo de hallazgo	Hueco	<input type="checkbox"/>	Hundimiento	<input type="checkbox"/>	Cárcava	<input type="checkbox"/>	Deslizamiento	<input type="checkbox"/>	Falla geotécnica	<input type="checkbox"/>
	Socavación	<input type="checkbox"/>	Surco	<input type="checkbox"/>	Tubificación	<input type="checkbox"/>	Desprendimiento parcial	<input type="checkbox"/>	Otras	<input type="checkbox"/>
	Cual otra o detalles									
Observaciones adicionales	El dique se encuentra en buen estado									
Recomendaciones										

**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 2/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa	
-------	------------	-------------------------	-----------------	---------	--

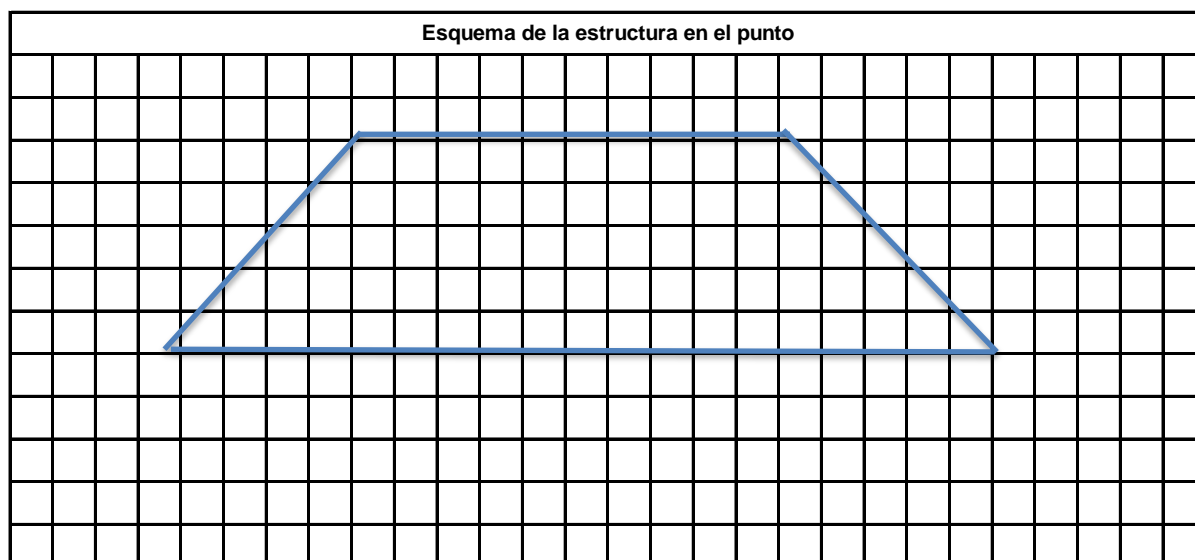
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W	0891761 07447926
---------------	----------	--------------------------	---------	-------------	--------	---------------------

Descripción geométrica de la estructura	Ancho (m)	11.5	Alto (m)	1.7	Largo (m)	
	Cresta (m)	5.0	Pata (m)			

Protección en la cara	Si		No	x	Tipo de protección	
	Descripción de tipo y estado de protección					Se observan sacos

Estructura compuesta de varios materiales o zonas	Si	x	No		Número de zonas	
	Descripción o notas de la composición de las estructuras					

Descripción geotécnica de los materiales que componen la estructura	Material 1	Arcilla limosa gris
	Material 2	
	Material 3	



**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 1/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa						
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W 0892021 074748314					
Tipo de estructura	Dique	x	Muro	Protección de orilla	Espigones					
Relieve en vecindades	Plano	x	Ondulado	Montañoso	Escarpado					
Uso del terreno en vecindades	Ganadería	x	Industria/Minero	Agrícola	x Urbano					
Cruces o carretables	Si	x	No							
Estado en general de la estructura en el punto	Bueno	x	Regular		Malo					
Funcionamiento de la estructura	Normal	x	Deficiente		Malo					
Evidencia de socavación aguas arriba	Si		No	x						
Evidencia de socavación aguas abajo	Si		No	x						
Observaciones socavación										
Falla, hundimiento o deterioro en la cresta	Si		No							
Observaciones daños en la cresta	Se observa batea para coger material y hacer rampa									
Factores que afectan la integridad	Filtraciones		Invasión		Corrientes		Deslizamiento		Otras	
	Caída de árbol u otros		Escorrentías		Const. Obras		Falla geotécnica			
	Cual otra o detalles									
Tipo de hallazgo	Hueco		Hundimiento		Cárcava		Deslizamiento		Falla geotécnica	
	Socavación		Surco		Tubificación		Desprendimiento parcial		Otras	
	Cual otra o detalles									
Observaciones adicionales	Aquí hubo rompimiento del dique, rotura e inundación en el 2014									
Recomendaciones										



**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 2/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa	
-------	------------	-------------------------	-----------------	---------	--

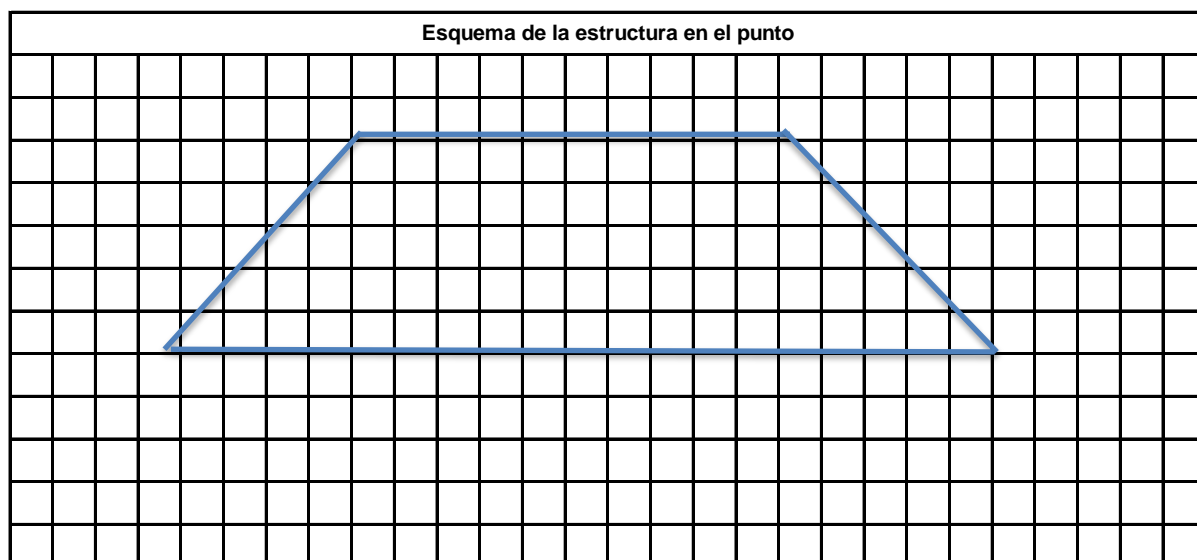
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W	0891761 07447926
---------------	----------	--------------------------	---------	-------------	--------	---------------------

Descripción geométrica de la estructura	Ancho (m)	11.5	Alto (m)	1.7	Largo (m)	
	Cresta (m)	5.0	Pata (m)			

Protección en la cara	Si		No	x	Tipo de protección	
	Descripción de tipo y estado de protección					Se observan sacos

Estructura compuesta de varios materiales o zonas	Si	x	No		Número de zonas	
	Descripción o notas de la composición de las estructuras					

Descripción geotécnica de los materiales que componen la estructura	Material 1	Arcilla limosa gris
	Material 2	
	Material 3	



**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 1/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa						
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W 0891830 07446639					
Tipo de estructura	Dique	x	Muro	Protección de orilla	Espigones					
Relieve en vecindades	Plano	x	Ondulado	Montañoso	Escarpado					
Uso del terreno en vecindades	Ganadería	x	Industria/Minero	Agrícola	x Urbano					
Cruces o carretables	Si	x	No							
Estado en general de la estructura en el punto	Bueno	x	Regular		Malo					
Funcionamiento de la estructura	Normal	x	Deficiente		Malo					
Evidencia de socavación aguas arriba	Si		No	x						
Evidencia de socavación aguas abajo	Si		No	x						
Observaciones socavación										
Falla, hundimiento o deterioro en la cresta	Si		No							
Observaciones daños en la cresta										
Factores que afectan la integridad	Filtraciones		Invasión		Corrientes		Deslizamiento		Otras	
	Caída de árbol u otros		Escorrentías		Const. Obras		Falla geotécnica			
	Cual otra o detalles									
Tipo de hallazgo	Hueco		Hundimiento		Cárcava		Deslizamiento		Falla geotécnica	
	Socavación		Surco		Tubificación		Desprendimiento parcial		Otras	
	Cual otra o detalles									
Observaciones adicionales										
Recomendaciones										

**INSPECCIÓN VISUAL DE ESTRUCTURAS ZONAS DE LA MOJANA**

**FONDO DE ADAPTACIÓN**

Formato 2/2

Fecha	12/04/2015	Ingeniero o responsable	Luzmilio Tolosa	Abscisa	
-------	------------	-------------------------	-----------------	---------	--

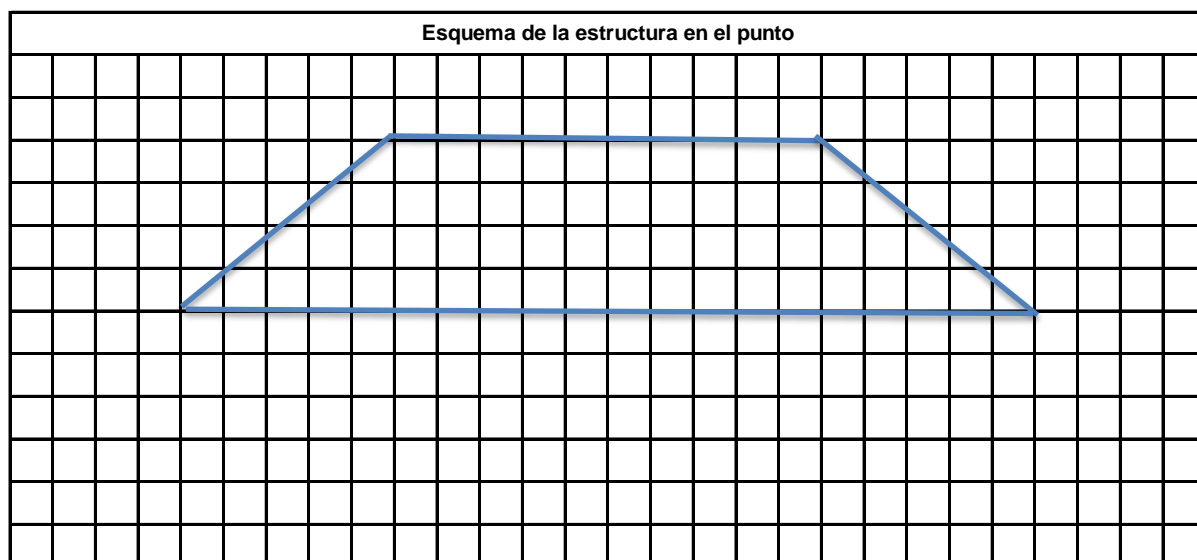
Lugar/ Vereda	Pinillos	Departamento y Municipio	Bolívar	Coordenadas	N W	0891830 07446639
---------------	----------	--------------------------	---------	-------------	--------	---------------------

Descripción geométrica de la estructura	Ancho (m)	17.4	Alto (m)	1.5	Largo (m)	
	Cresta (m)	7	Pata (m)			

Protección en la cara	Si		No	x	Tipo de protección	
	Descripción de tipo y estado de protección					Se observan sacos

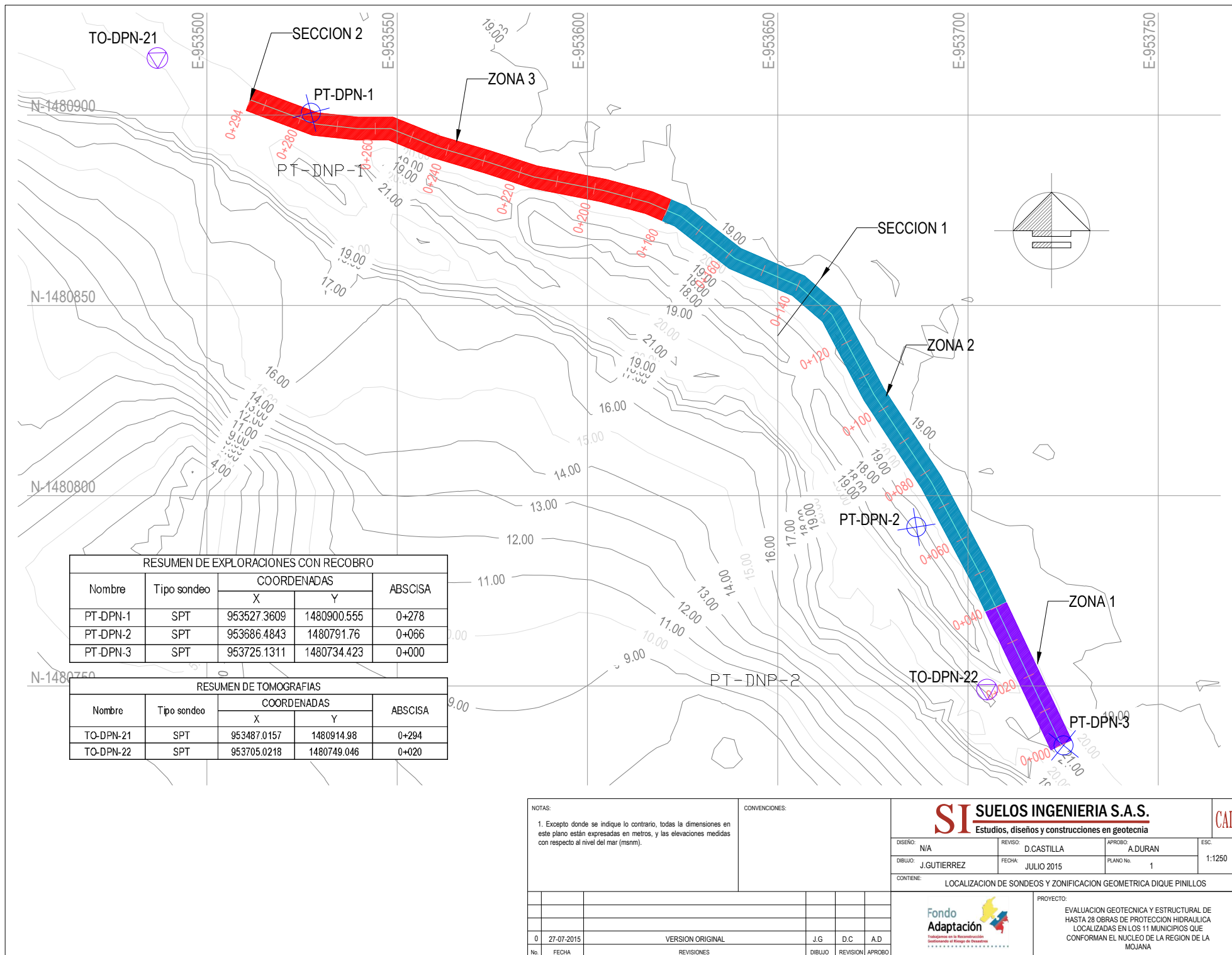
Estructura compuesta de varios materiales o zonas	Si	x	No	x	Número de zonas	
	Descripción o notas de la composición de las estructuras					

Descripción geotécnica de los materiales que componen la estructura	Material 1	Arcilla limosa gris
	Material 2	
	Material 3	



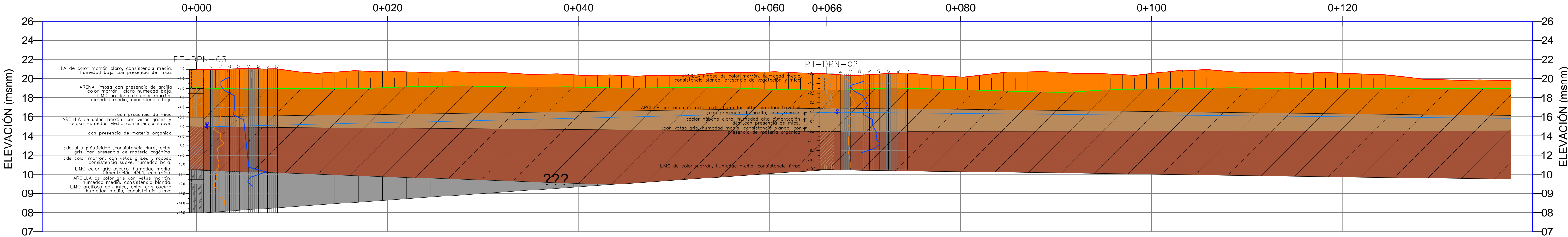
## **ANEXO B.**

### **PLANOS EN PLANTA DE ZONIFICACIÓN DEL DIQUE Y LOCALIZACIÓN DE PERFORACIONES**



## **ANEXO C.**

### **PERFIL GEOLÓGICO – GEOTECNICO**



PERFIL LONGITUDINAL DIQUE PINILLOS  
K 0+000 A K 0+120

- ESTRUCTURA DEL DIQUE - ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD DE CONSISTENCIA FIRME
- SUELO DE FUNDACIÓN - ARCILLA DE BAJA PLÁSTICIDAD DE CONSISTENCIA FIRME Y/O LIMO DE BAJA PLASTICIDAD DE COMPACIDAD MEDIO SUELTA
- SUELO DE FUNDACIÓN - ARCILLA DE ALTA PLÁSTICIDAD DE CONSISTENCIA FIRME

- SUELO DE FUNDACIÓN - ARENA LIMOSA DE COMPACIDAD MEDIO SUELTA
- SUELO DE FUNDACIÓN - LIMO DE BAJA PLÁSTICIDAD DE CONSISTENCIA FIRME.

NOTAS:

1. Excepto donde se indique lo contrario, todas la dimensiones en este plano están expresadas en metros, y las elevaciones medidas con respecto al nivel del mar (msnm).

CONVENCIONES:

- N DE GOLPES
- HUMEDAD (%)
- NIVEL FREÁTICO
- PERFIL DEL DIQUE
- PERFIL TERRENO NATURAL

**SI** SUELOS INGENIERIA S.A.S.

Estudios, diseños y construcciones en geotecnia

DISEÑO:

REVISÓ: D.CASTILLO

APROBO: A.DURAN

ESC.:

DIBUJO: J.GUTIERREZ

FECHA: JULIO 2015

PLANO No. 1.1

1:250

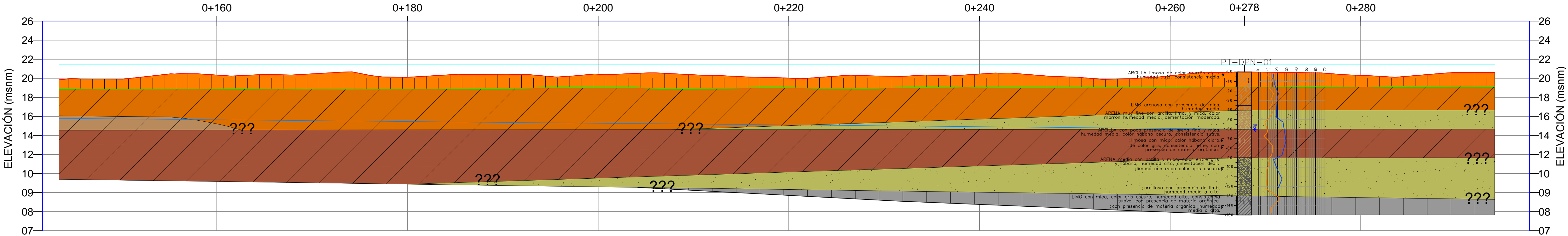
Fondo Adaptación

Trabajamos en la Reconstrucción Reduciendo el Riesgo de Desastres

PROYECTO:  
EVALUACION GEOTECNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCION HIDRAULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NUCLEO DE LA REGION DE LA MOJANA

0	08-07-2015	VERSION ORIGINAL	W.H	J.G	V.B
No.	FECHA	REVISIONES	DIBUJO	REVISION	APROBO





PERFIL LONGITUDINAL DIQUE PINILLOS  
K 0+120 A K 0+280



ESTRUCTURA DEL DIQUE - ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD DE CONSISTENCIA FIRME



SUELO DE FUNDACIÓN - ARCILLA DE BAJA PLÁSTICIDAD DE CONSISTENCIA FIRME Y/O LIMO DE BAJA PLASTICIDAD DE COMPACIDAD MEDIO SUELTA



SUELO DE FUNDACIÓN - ARCILLA DE ALTA PLÁSTICIDAD DE CONSISTENCIA FIRME



SUELO DE FUNDACIÓN - ARENA LIMOSA DE COMPACIDAD MEDIO SUELTA



SUELO DE FUNDACIÓN - LIMO DE BAJA PLÁSTICIDAD DE CONSISTENCIA FIRME.

NOTAS: 1. Excepto donde se indique lo contrario, todas la dimensiones en este plano están expresadas en metros, y las elevaciones medidas con respecto al nivel del mar (msnm).			CONVENCIONES: — N DE GOLPES — HUMEDAD (%) — NIVEL FREÁTICO — PERFIL DEL DIQUE		
0	08-07-2015	VERSION ORIGINAL	W.H	J.G	V.B
No.	FECHA	REVISIONES	DIBUJO	REVISION	APROBO

<b>SI SUELOS INGENIERIA S.A.S.</b> Estudios, diseños y construcciones en geotecnia				CAD
DISEÑO:	REVISÓ:	APROBO:	ESC.	
DIBUJO: J.GUTIERREZ	FECHA: JULIO 2015	PLANO No. 1.2	1:250	
CONTIENE: PERFIL LONGITUDINAL DIQUE PINILLOS				
<b>Fondo Adaptación</b> <small>Trabajamos en la Reconstrucción fortaleciendo el Riesgo de Desastres</small>			PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCION HIDRAULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NUCLEO DE LA REGION DE LA MOJANA	

## **ANEXO D.**

# **CUADRO RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA**

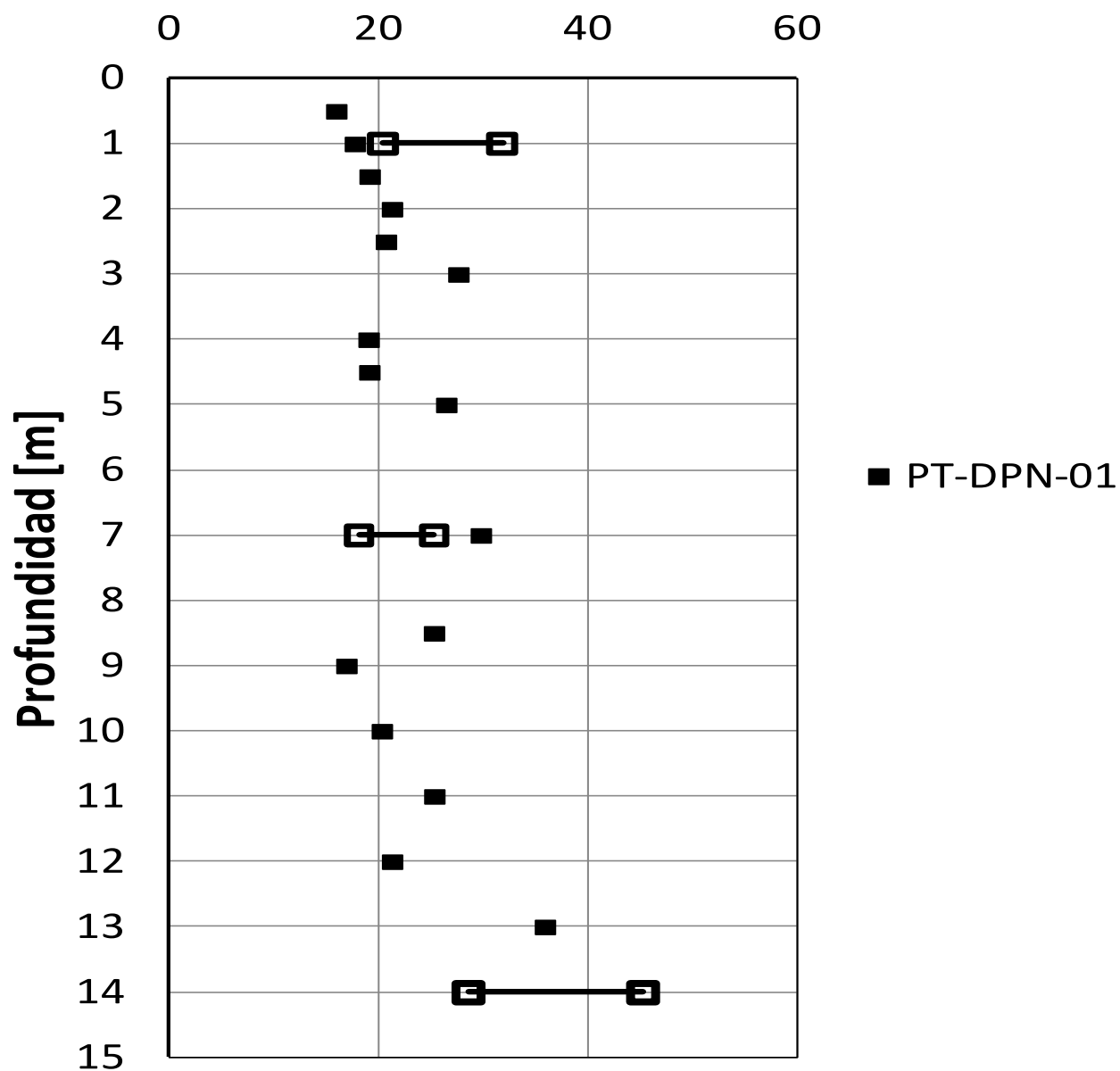
Prof. (m)	ZONA 1	Perforación	Profundidad del estrato (m)	N60	Promedio en el estrato		
					Es (MPa) Arenas	Es (MPa) Limos	Es (MPa) arcillas
0	(Estructura del dique)	Zona 2 PT-DNP-1	0.0 - 0.5	10			38
			1.0 - 1.5	15			58.1
	Arcilla de baja plasticidad de consistencia firme		1.5 - 2.0	12			46.6
1.5	(Suelo de fundación)		2.0 - 2.5	11			40
	Arcilla de baja plasticidad de consistencia firme		2.5 - 3.0	14			53.3
			3.0 - 3.5	12			46.6
			3.5 - 4.0	13			50
4	(Suelo de fundación)		4.0 - 4.5	11			40
	Arcilla de baja plasticidad de consistencia firme		4.5 - 5.0	15			56.6
			5.0 - 5.5	12			45.3
			5.5 - 6.0	7			26.4
6	(Suelo de fundación)		6.0 - 6.5	7	5.5		
	Arena limosa de compacidad medio suelta		6.5 - 7.0	11	6.6		
			7.0 - 7.5	7	5.4		
			7.5 - 8.0	12	6.8		
			8.0 - 8.5	17	8		
			8.5 - 9.0	17	8		
9	(Suelo de fundación)		9.0 - 9.5	16			59.1
	Arcilla de baja plasticidad de consistencia firme		9.5 - 10.0	11			42.2
			10.0 - 10.5	12			46.4
			10.5 - 11.0	11			40
			11.0 - 11.5	11			40
			11.5 - 12.0	11			40
			12.0 - 12.5	11			40
			12.5 - 13.0	9			35.5
13	(Suelo de fundación)		13.0 - 13.5	9		4.6	
	Limo de baja plasticidad de consistencia firme		14.0 - 14.0	27		10	
			14.0 - 14.5	27		10	
15			14.5 - 15.0	17		6.8	
		Promedio		13	6.7	7.8	44.4
		Máximo		27.2	8	10	59.1
		Mínimo		6.8	5.4	4.6	26.4
		Desviación estándar		4.8	1.1	2.6	8.3
		Número de datos		29	6	4	19

Prof.  (m)	ZONA 2	Perforación	Profundidad del estrato (m)	N60  Promedio	Promedio en el estrato		
					Es (MPa) Limos	Es (MPa) Arcillas	k (cm/s) Véase Numeral 6.9
0	(Estructura del dique)	Zona 1 PT-DP-2 y PT-DP-3	0.0 - 0.5	12		46.6	
1.5	Arcilla de baja plasticidad de consistencia firme		1.0 - 1.5	9		33.3	
			1.5 - 2.0	4		13.3	
			2.0 - 2.5	10		36.6	
2	(Suelo de fundación) Arcilla de baja plasticidad de consistencia firme		2.5 - 3.0	10		38.3	
4			3.0 - 3.5	10		36.6	
			3.5 - 4.0	9		33.3	
			4.0 - 4.5	12		43.3	
5			4.5 - 5.0	11		42	
			5.0 - 5.5	8		28.6	
			5.5 - 6.0	12		45.3	
6			6.0 - 6.5	7		26.4	
			6.5 - 7.0	5		19.5	
			7.0 - 7.5	11		42.1	
9	Arcilla de alta plasticidad de consistencia firme		7.5 - 8.0	11		40.1	
			8.0 - 8.5	12		46.4	
			8.5 - 9.0	8		31.6	
			9.0 - 9.5	10		35.9	
			9.5 - 10.0	8		31.6	
			10.0 - 10.5	10		38	
			10.5 - 11.0	10		38.9	
			11.0 - 11.5	9	4.4		
11	(Suelo de fundación)		11.5 - 12.0	8	4.3		
			12.0 - 12.5	6	3.6		
			12.5 - 13.0	5	3.2		
13	Limo de baja plasticidad de consistencia firme		13.0 - 13.5	12	5.4		
14.0 - 14.0			11	5			
14.0 - 14.5			18	7.1			
14.5 - 15.0			17	6.8			
15			Promedio	9.8	5	35.6	
			Máximo	17.8	7.1	46.6	
			Mínimo	3.6	3.2	13.3	
			Desviación estándar	3.1	1.4	8.5	
			Número de datos	29	8	21	0

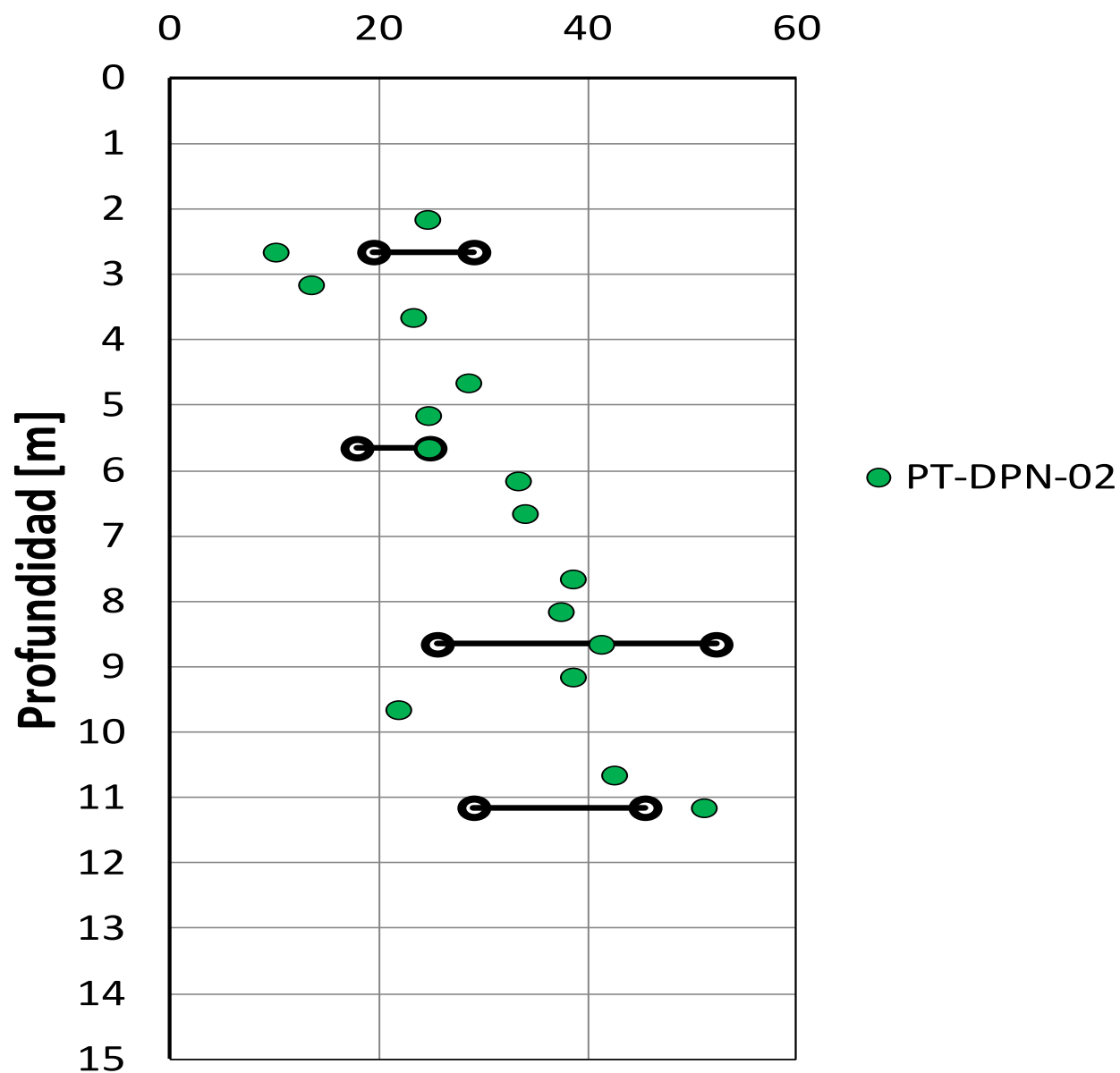
## **ANEXO E.**

### **CUADRO DE PROPIEDAD INDICE DE MATERIALES**

## Humedad natural y límites de consistencia

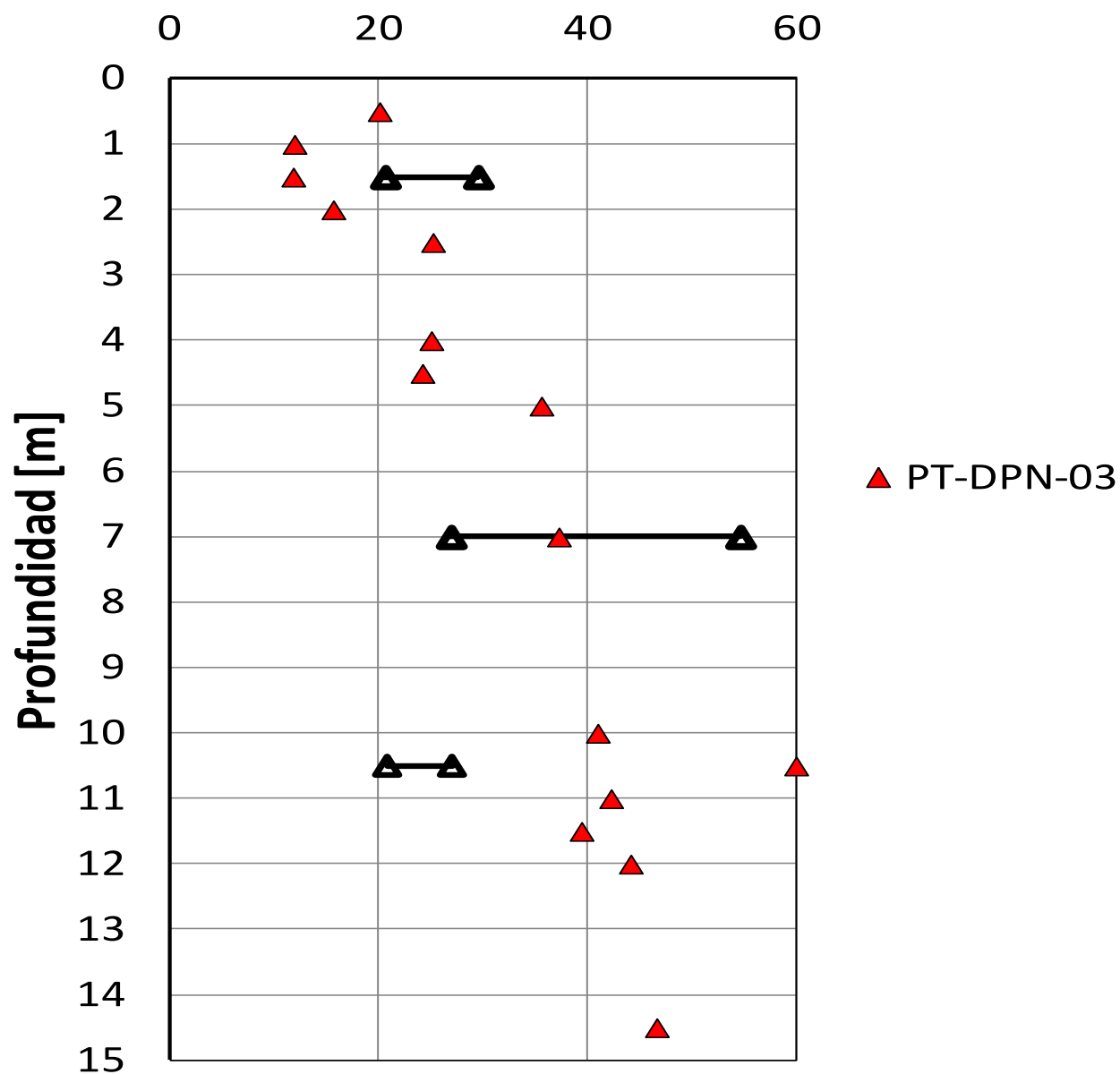


## Humedad natural y límites de consistencia





## Humedad natural y límites de consistencia



## **ANEXO F.**

# **RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y REGISTROS DE PERFORACIÓN**

# RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

	RESUMEN DE RESULTADOS	CODIGO: LAB-R-14
		VERSION: 3
		FECHA: DICIEMBRE 27 DE 2012

CLIENTE:

FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO:

EVALUACIÓN GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGIÓN DE LA MOJANA


LOCALIZACION:

DIQUE PINILLOS


SONDEO:

PT-DP-1

SONDEO	MUESTRA N°	PROFUNDIDAD (m)	ENSAYOS																	CORTE DIRECTO		Qu		PERMEABILIDADES	P.U POR DESPLAZAMIENTO			
			W (%)	ATTERBERG			ANALISIS GRANULOMETRICO			(SUCS)	P <sup>c</sup> (kg/cm²)	Cc	Cs	% PARTIL < 2 µ	PESO UNITARIO [g/cm3]	PIN HOLE	Gs	DISPERSION EN DOBLE HIDROMETRO	GRADO DE DISPERSABILIDAD CRUMB	M.O. (%)	LIMITE DE CONTRACCION %	♦	c (kpa)	q <sub>v</sub> (kPa)	Cu (KPa)	K20 (m/seg)	(g/cm³)	
				LL (%)	LP (%)	IP (%)	T - N°4	T - N°40	T - N°200																			
PT-DP-1	2	0,50 - 1,00	16,00	31,9	20,5	111,4	100,00	99,38	83,43	CL																		
	3	1,00 - 1,50	17,78																									
	4	1,50 - 2,00	19,19																									
	5	2,00 - 2,50	21,33																									
	6	2,50 - 3,00	20,75																									
	7	3,00 - 3,50	27,68																									
	9	4,00 - 4,50	19,09																									
	10	4,50 - 5,00	19,16																									
	11	5,00 - 5,50	26,52																									
	13	6,00 - 6,50	-	25,3	18,2	7,1	100,00	98,55	80,06	CL																		
	15	7,00 - 7,50	29,83																									
	18	8,50 - 9,00	25,35																									
	19	9,00 - 9,50	16,97	NL	NP	NL-NP	100,00	90,63	17,14	SM	1,79																	
	21	10,00 - 10,50	20,36	NL	NP	NL-NP	100,00	97,28	20,37	SM																		
	23	11,00 - 11,50	25,38																									
25	12,00 - 12,50	21,34																										
27	13,00 - 13,50	35,96																										
29	14,00 - 14,50	-	45,3	28,6	16,7	100,00	99,79	99,26	ML																			
W <sub>NAT</sub> : Humedad natural. LL: Limite Líquido. LP: Limite Plástico. IP: Índice Plástico. LC: Limite de Contracción. Pu: Peso unitario. Gs: Gravedad Especifica. Dispers.: Dispersividad por medio del ensayo Pin Hole. Químicos: Ph - Sulfatos - Cloruros																												
OBSERVACIONES																												



DIRECTOR TECNICO



INGENIERO DE LABORATORIO


CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN


PROYECTO: EVALUACIÓN GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGIÓN DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

SONDEO: PT-DP-2

SONDEO	MUESTRA N°	PROFUNDIDAD (m)	ENSAYOS																	CORTE DIRECTO		Qu		PERMEABILIDADES	P.U POR DESPLAZAMIENTO		
			W (%)	ATTERBERG			ANALISIS GRANULOMETRICO			(SUCS)	P°c (kg/cm²)	Cc	Cs	% PARTI. < 2 µ	PESO UNITARIO [g/cm³]	PIN HOLE	Gs	DISPERSION EN DOBLE HIDROMETRO	GRADO DE DISPERSABILIDAD CRUMB	M.O. (%)	LIMITE DE CONTRACCION %	♦	c (kpa)	q <sub>v</sub> (kPa)	Cu (KPa)	K20 (m/seg)	(g/cm³)
				LL (%)	LP (%)	IP (%)	T - N°4	T - N°40	T - N°200																		
PT-DP-2	2	0,50 - 1,00	24.64																								1.78
	3	1,00 - 1,50	10.11	29.1	19.5	9.6	100.00	98.69	81.77	CL																	
	4	1,50 - 2,00	13.50													2.74											
	5	2,00 - 2,50	23.28																								1.66
	7	3,00 - 3,50	28.57											1.84													1.66
	8	3,50 - 4,00	24.72																								
	9	4,00 - 4,50	24.78	24.9	17.9	7.0	100.00	99.43	83.00	CL																	
	10	4,50 - 5,00	33.33																								
	11	5,00 - 5,50	33.99																								
	13	6,00 - 6,50	38.58																								
	14	6,50 - 7,00	37.43																								
	15	7,00 - 7,50	41.30	52.3	25.6	26.7	100.00	100.00	97.05	CH																1.63	
	16	7,50 - 8,00	36.59																								
	17	8,00 - 8,50	21.86																								
	19	9,00 - 9,50	42.54																8.25								
	20	9,50 - 10,00	51.13	45.5	29.1	16.4	100.00	99.71	99.07	ML																	
W <sub>NAT</sub> : Humedad natural. LL: Limite Líquido. LP: Limite Plástico. IP: Indice Plástico. LC: Limite de Contracción. Pu: Peso unitario. Gs: Gravedad Específica. Dispers.: Dispersividad por medio del ensayo Pin Hole. Químicos: Ph - Sulfatos - Cloruros																											
OBSERVACIONES																											

  
DIRECTOR TÉCNICO

  
INGENIERO DE LABORATORIO

## RESUMEN DE RESULTADOS

**CODIGO: LAB-R-14**

VERSION: 8

FECHA: DICIEMBRE 27 DE 2012

CLIENTE:	FONDO DE ADAPTACIÓN
PROYECTO:	EVALUACIÓN GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGIÓN DE LA MOJANA
LOCALIZACION:	DIQUE PINILLOS

SONDEO: PT-DP-3

SONDEO	MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD (m)	ENSAYOS																CORTE DIRECTO		Qu		PERMEABILIDADES	P.U POR DESPLAZAMIENTO					
			W (%)	ATTERBERG			ANALISIS GRANULOMETRICO			(SUCS)	P <sup>c</sup> (kg/cm²)	Cc	Cs	% PARTI. < 2 µ	PESO UNITARIO [g/cm3]	PIN HOLE	Gs	DISPERSION EN DOBLE HIDROMETRO	GRADO DE DISPERSABILIDAD CRUMB	I.M.O. (%)	LIMITE DE CONTRACCION %	♦	c (kpa)	q <sub>v</sub> (kPa)	Cu (KPa)	K20 (m/seg)	(g/cm <sup>3</sup> )		
				LL (%)	LP (%)	IP (%)	T- N°4	T- N°40	T- N°200																				
PT-DP-3	2	0.50 - 1.00	20.05																										
	3	1.00 - 1.50	11.90	29.5	20.6	8.9	100.00	99.68	84.92	CL																			
	4	1.50 - 2.00	11.78													2.69													
	5	2.00 - 2.50	15.62																										
	6	2.50 - 3.00	25.16																										
	9	4.00 - 4.50	25.00																										
	10	4.50 - 5.00	24.15	NL	NP	NL-NP	100.00	99.83	58.37	ML																			
	11	5.00 - 5.50	35.54																										
	12	5.50 - 6.00	-																										
	15	7.00 - 7.50	37.21	54.6	26.9	27.7	100.00	100.00	98.11	CH																			
	21	10.00 - 10.50	40.93																										
	22	10.50 - 11.00	59.92	27.0	20.8	6.2	100.00	93.93	69.42	CL-ML																			
	23	11.00 - 11.50	42.21																										
	24	11.50 - 12.00	39.38																										
	25	12.00 - 12.50	44.09																										
30	14.50 - 15.00	46.58																											

W<sub>u</sub>:- Humedad natural

LL:- Limite Líquido

LP:- Limite Plástico

IP:- Índice Plástico

LC:- Limite de Contracción

P<sub>u</sub>:- Peso unitario

G<sub>s</sub>:- Gravedad Específica

Dispers :- Dispersividad por medio del ensayo Pin Hole

Químicos: Ph - Sulfatos - Cloruros

W<sub>max</sub>: Humedad natural    L: Límite Líquido    P: Límite Plástico    IP: Índice Plástico    C: Límite de Contracción    Pu: Peso unitario    Gs: Gravedad Específica    Dispers: Dispersividad por medio del ensayo Pin Hole    Químicos: Ph- Sulfatos- Cloruros

OBSERVACIONES

**DIRECTOR TECNICO**

INGENIERO DE LABORATORIO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE  
PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 09/06/15

SONDEO	MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD	Ws <sub>h</sub> +T	Ws <sub>s</sub> +T	W <sub>T</sub>	HUMEDAD NATURAL
PT-DP-1	2	0,50 - 1,00	36.30	32.30	7.30	16.00
PT-DP-1	3	1,00 - 1,50	45.70	39.60	5.30	17.78
PT-DP-1	4	1,50 - 2,00	67.30	57.30	5.20	19.19
PT-DP-1	5	2,00 - 2,50	41.30	34.90	4.90	21.33
PT-DP-1	6	2,50 - 3,00	52.10	43.80	3.80	20.75
PT-DP-1	7	3,00 - 3,50	64.40	52.00	7.20	27.68
PT-DP-1	9	4,00 - 4,50	54.80	47.70	10.50	19.09
PT-DP-1	10	4,50 - 5,00	44.70	39.20	10.50	19.16
PT-DP-1	11	5,00 - 5,50	44.60	36.30	5.00	26.52
PT-DP-1	15	7,00 - 7,50	50.90	40.40	5.20	29.83
PT-DP-1	18	8,50 - 9,00	48.90	39.80	3.90	25.35
PT-DP-1	19	9,00 - 9,50	71.70	62.40	7.60	16.97
PT-DP-1	21	10,00 - 10,50	72.20	60.90	5.40	20.36
PT-DP-1	23	11,00 - 11,50	72.20	58.70	5.50	25.38
PT-DP-1	25	12,00 - 12,50	41.90	35.20	3.80	21.34
PT-DP-1	27	13,00 - 13,50	32.00	25.60	7.80	35.96

## OBSERVACIONES GENERALES:



INGENIERO DE LABORATORIO



VºBº. DIRECTOR TECNICO



CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE  
PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 09/06/15

SONDEO	MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD	W <sub>sh</sub> +T	W <sub>ss</sub> +T	W <sub>t</sub>	HUMEDAD NATURAL
PT-DP-2	2	0,50 - 1,00	48.30	39.80	5.30	24.64
PT-DP-2	3	1,00 - 1,50	45.20	41.50	4.90	10.11
PT-DP-2	4	1,50 - 2,00	63.00	56.10	5.00	13.50
PT-DP-2	5	2,00 - 2,50	43.10	36.00	5.50	23.28
PT-DP-2	7	3,00 - 3,50	37.00	30.20	6.40	28.57
PT-DP-2	8	3,50 - 4,00	48.50	39.70	4.10	24.72
PT-DP-2	9	4,00 - 4,50	36.30	30.60	7.60	24.78
PT-DP-2	10	4,50 - 5,00	60.20	46.40	5.00	33.33
PT-DP-2	11	5,00 - 5,50	46.00	35.60	5.00	33.99
PT-DP-2	13	6,00 - 6,50	46.20	36.40	11.00	38.58
PT-DP-2	14	6,50 - 7,00	30.80	24.10	6.20	37.43
PT-DP-2	15	7,00 - 7,50	40.10	29.90	5.20	41.30
PT-DP-2	16	7,50 - 8,00	39.00	30.00	5.40	36.59
PT-DP-2	17	8,00 - 8,50	51.50	44.20	10.80	21.86
PT-DP-2	19	9,00 - 9,50	49.80	36.40	4.90	42.54
PT-DP-2	20	9,50 - 10,00	38.10	26.80	4.70	51.13

## OBSERVACIONES GENERALES:



INGENIERO DE LABORATORIO



VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE  
PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 09/06/15

SONDEO	MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD	W <sub>s<sub>h</sub>+T</sub>	W <sub>s<sub>s</sub>+T</sub>	W <sub>T</sub>	HUMEDAD NATURAL
PT-DP-3	2	0,50 - 1,00	49.00	41.60	4.70	20.05
PT-DP-3	3	1,00 - 1,50	42.50	38.50	4.90	11.90
PT-DP-3	4	1,50 - 2,00	40.40	36.90	7.20	11.78
PT-DP-3	5	2,00 - 2,50	65.70	57.50	5.00	15.62
PT-DP-3	6	2,50 - 3,00	43.50	35.70	4.70	25.16
PT-DP-3	9	4,00 - 4,50	44.00	36.20	5.00	25.00
PT-DP-3	10	4,50 - 5,00	45.60	37.80	5.50	24.15
PT-DP-3	11	5,00 - 5,50	50.70	38.90	5.70	35.54
PT-DP-3	15	7,00 - 7,50	28.30	21.90	4.70	37.21
PT-DP-3	21	10,00 - 10,50	35.30	26.50	5.00	40.93
PT-DP-3	22	10,50 - 11,00	45.70	30.00	3.80	59.92
PT-DP-3	23	11,00 - 11,50	46.60	35.50	9.20	42.21
PT-DP-3	24	11,50 - 12,00	32.20	24.60	5.30	39.38
PT-DP-3	25	12,00 - 12,50	36.30	26.60	4.60	44.09
PT-DP-3	30	14,50 - 15,00	50.00	35.70	5.00	46.58

## OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

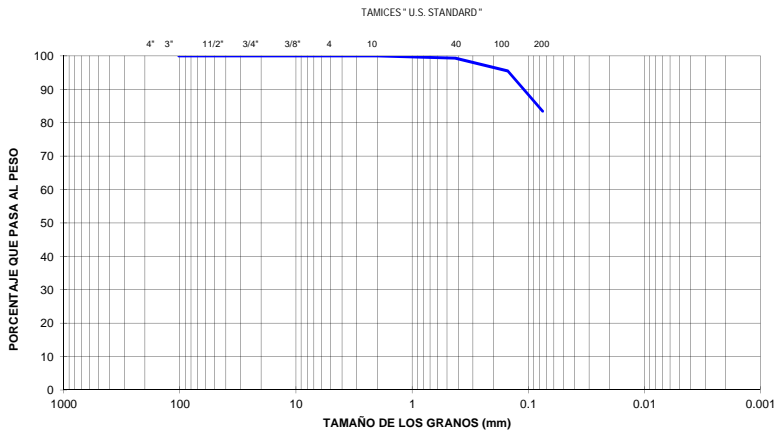
SONDEO: PT-DP-1

PROFUNDIDAD: 1,00 - 1,50

MUESTRA: 3

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		192.5 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	1.20	0.62	99.38
No 100	0.15	7.40	3.84	95.53
No 200	0.075	23.30	12.10	83.43



**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	27.9	29.7	30.7
Peso suelo seco + lata (gr)	23.1	24.9	25.6
Peso de lata (gr)	9.0	10.1	8.7
Contenido de humedad, %	34.0	32.4	30.2
Número de golpes, N	14	23	39

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	19.4	19.6	
Peso suelo seco + lata (gr)	16.9	17.2	
Peso de lata (gr)	4.6	5.6	
Contenido de humedad, %	20.3	20.7	

LIMITE LIQUIDO: 31.9 %

LIMITE PLASTICO: 20.5 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 11.4 %

CLASIFICACION S.U.C.S.: CL

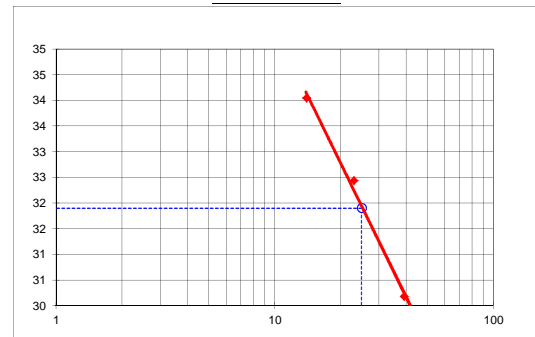
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.:

% PASA 200 REAL 83.43 %

LINEA A: 8.687

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

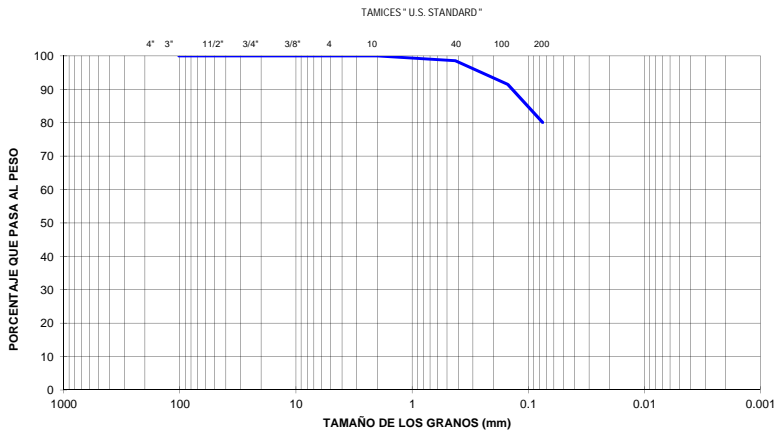
SONDEO: PT-DP-1

PROFUNDIDAD: 7,00 - 7,50

MUESTRA: 15

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		179.0 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	2.60	1.45	98.55
No 100	0.15	12.70	7.09	91.45
No 200	0.075	20.40	11.40	80.06



**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	24.8	22.7	30.0
Peso suelo seco + lata (gr)	21.4	19.8	26.7
Peso de lata (gr)	9.1	8.6	12.4
Contenido de humedad, %	27.6	25.9	23.1
Número de golpes, N	14	25	37

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	19.9	25.4	
Peso suelo seco + lata (gr)	18.6	24.0	
Peso de lata (gr)	11.3	16.5	
Contenido de humedad, %	17.8	18.7	

LIMITE LIQUIDO: 25.3 %

LIMITE PLASTICO: 18.2 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 7.1 %

CLASIFICACION S.U.C.S.: CL

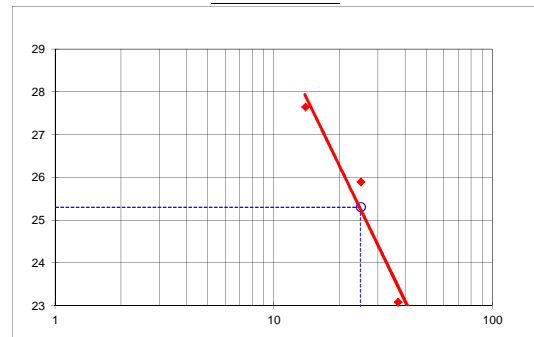
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: CL

% PASA 200 REAL: 80.06 %

LINEA A: 3.869

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_{c=(D30)^2/D10 \times D60}$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

SONDEO: PT-DP-1

PROFUNDIDAD: 9,00 - 9,50

MUESTRA: 19

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		173.9 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	16.30	9.37	90.63
No 100	0.15	102.40	58.88	31.74
No 200	0.075	25.40	14.61	17.14

**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)			
Peso suelo seco + lata (gr)			
Peso de lata (gr)			
Contenido de humedad, %			
Número de golpes, N			

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)			
Peso suelo seco + lata (gr)			
Peso de lata (gr)			
Contenido de humedad, %			

LIMITE LIQUIDO: NL %

LIMITE PLASTICO: NP %

INDICE DE PLASTICIDAD: NL-NP %

CLASIFICACION S.U.C.S.: SM

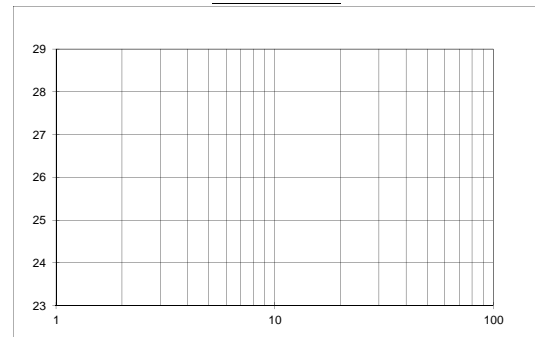
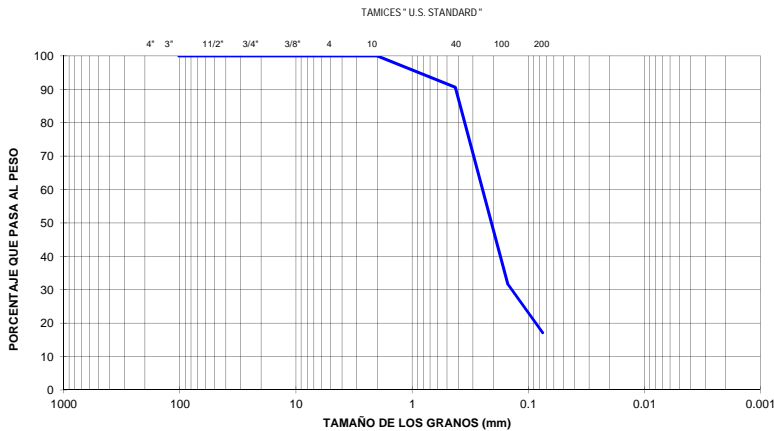
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: C<sub>C=(D30)²/D10xD60, entre 1 y 3</sub>

% PASA 200 REAL 17.14 %

LINEA A: N/A

C<sub>u=D60/D10, >6</sub>

C<sub>C=(D30)²/D10xD60, entre 1 y 3</sub>



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

SONDEO: PT-DP-1

PROFUNDIDAD: 10,00 - 10,50

MUESTRA: 21

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		202.3 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	5.50	2.72	97.28
No 100	0.15	133.30	65.89	31.39
No 200	0.075	22.30	11.02	20.37

**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)			
Peso suelo seco + lata (gr)			
Peso de lata (gr)			
Contenido de humedad, %			
Número de golpes, N			

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)			
Peso suelo seco + lata (gr)			
Peso de lata (gr)			
Contenido de humedad, %			

LIMITE LIQUIDO: NL %

LIMITE PLASTICO: NP %

INDICE DE PLASTICIDAD: NL-NP %

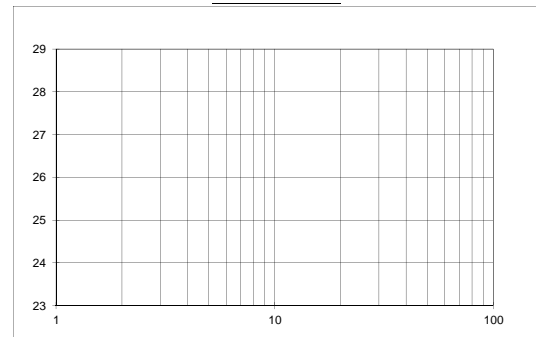
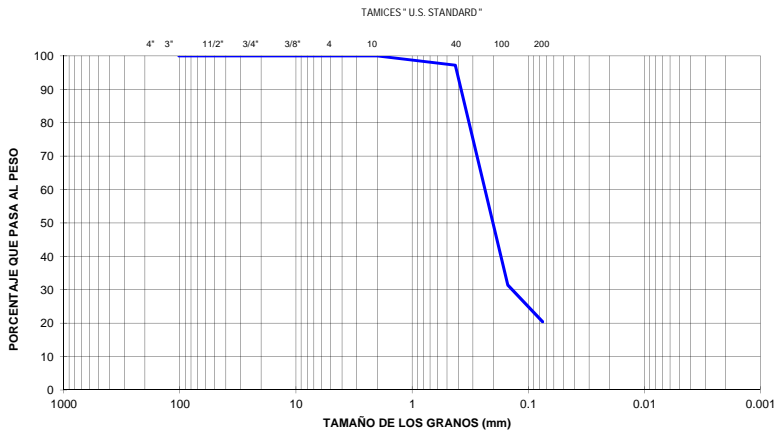
CLASIFICACION S.U.C.S.: SM

CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: % PASA 200 REAL 20.37 %

LINEA A: N/A

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_c=(D30)^2 / D10 \times D60$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

SONDEO: PT-DP-1

PROFUNDIDAD: 14,00 - 14,50

MUESTRA: 29

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		190.4 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	0.40	0.21	99.79
No 100	0.15	0.60	0.32	99.47
No 200	0.075	0.40	0.21	99.26

**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	22.8	23.1	20.5
Peso suelo seco + lata (gr)	19.1	19.3	17.8
Peso de lata (gr)	11.6	11.0	11.4
Contenido de humedad, %	49.7	45.8	41.7
Número de golpes, N	15	26	35

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	20.0	20.8	
Peso suelo seco + lata (gr)	18.1	18.7	
Peso de lata (gr)	11.4	11.5	
Contenido de humedad, %	28.7	28.6	

LIMITE LIQUIDO: 45.3 %

LIMITE PLASTICO: 28.6 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 16.7 %

CLASIFICACION S.U.C.S.: ML

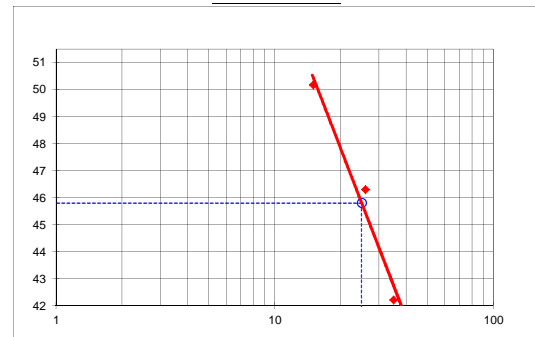
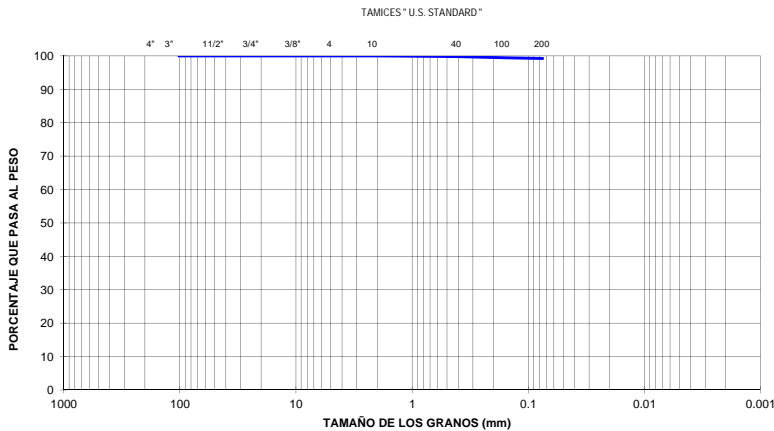
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: C<sub>C=(D30)²/D10xD60, entre 1 y 3</sub>

% PASA 200 REAL: 99.26 %

LINEA A: 18.469

C<sub>u=D60/D10, >6</sub>

C<sub>c=(D30)²/D10xD60, entre 1 y 3</sub>



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

SONDEO: PT-DP-2

PROFUNDIDAD: 1,00 - 1,50

MUESTRA: 3

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		198.6 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	2.60	1.31	98.69
No 100	0.15	8.70	4.38	94.31
No 200	0.075	24.90	12.54	81.77

**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	22.3	23.7	20.5
Peso suelo seco + lata (gr)	18.8	20.1	17.4
Peso de lata (gr)	7.9	8.0	6.0
Contenido de humedad, %	32.1	29.8	27.2
Número de golpes, N	13	23	36

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	19.9	21.3	
Peso suelo seco + lata (gr)	17.6	19.0	
Peso de lata (gr)	5.9	7.1	
Contenido de humedad, %	19.7	19.3	

LIMITE LIQUIDO: 29.1 %

LIMITE PLASTICO: 19.5 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 9.6 %

CLASIFICACION S.U.C.S.: CL

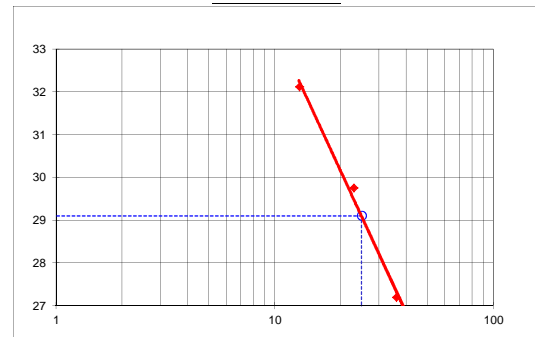
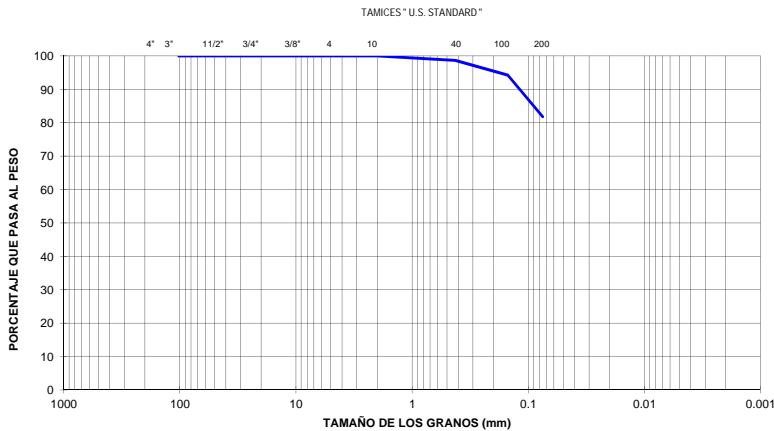
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: CL

% PASA 200 REAL: 81.77 %

LINEA A: 6.643

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_{C=(D30)^2/D10 \times D60}$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO



CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

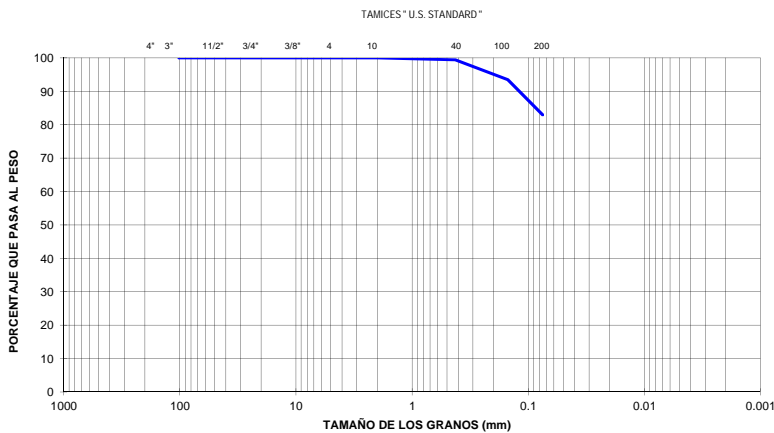
SONDEO: PT-DP-2

PROFUNDIDAD: 4,00 - 4,50

MUESTRA: 9

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		174.7 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	1.00	0.57	99.43
No 100	0.15	10.30	5.90	93.53
No 200	0.075	18.40	10.53	83.00



**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	20.3	22.1	23.1
Peso suelo seco + lata (gr)	16.9	18.9	20.4
Peso de lata (gr)	4.6	6.1	8.9
Contenido de humedad, %	27.6	25.0	23.5
Número de golpes, N	13	23	36

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	18.1	18.8	
Peso suelo seco + lata (gr)	16.1	16.7	
Peso de lata (gr)	5.0	4.9	
Contenido de humedad, %	18.0	17.8	

LIMITE LIQUIDO: 24.9 %

LIMITE PLASTICO: 17.9 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 7.0 %

CLASIFICACION S.U.C.S.: CL

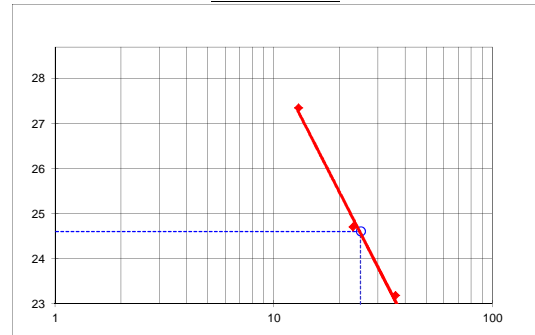
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.:

% PASA 200 REAL 83.00 %

LINEA A: 3.577

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

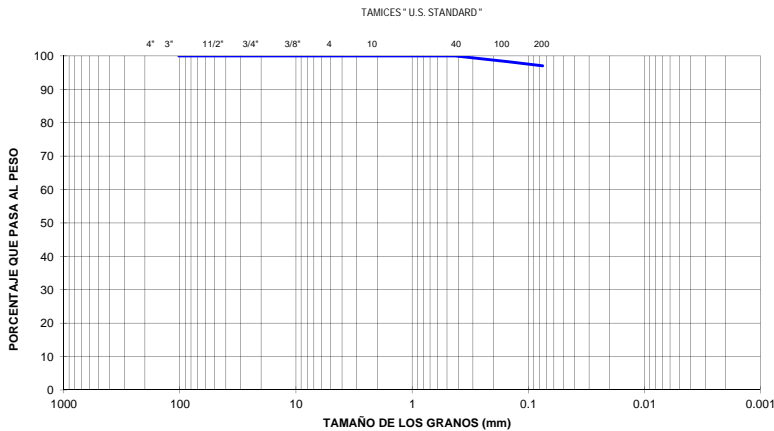
SONDEO: PT-DP-2

PROFUNDIDAD: 7,00 - 7,50

MUESTRA: 15

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		156.1 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425			100.00
No 100	0.15	2.60	1.67	98.33
No 200	0.075	2.00	1.28	97.05



**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	29.8	33.6	32.4
Peso suelo seco + lata (gr)	22.4	26.6	25.6
Peso de lata (gr)	9.1	13.3	11.9
Contenido de humedad, %	55.6	52.6	49.6
Número de golpes, N	14	26	37

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	21.1	22.6	
Peso suelo seco + lata (gr)	18.9	20.4	
Peso de lata (gr)	10.6	11.5	
Contenido de humedad, %	26.5	24.7	

LIMITE LIQUIDO: 52.3 %

LIMITE PLASTICO: 25.6 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 26.7 %

CLASIFICACION S.U.C.S.: CH

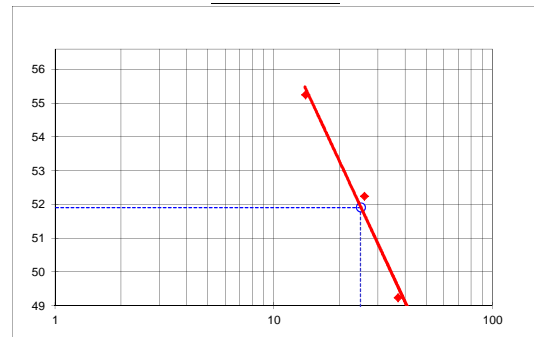
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.:

% PASA 200 REAL 97.05 %

LINEA A: 23.579

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

SONDEO: PT-DP-2

PROFUNDIDAD: 9,50 - 10,00

MUESTRA: 20

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		172.8 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	0.50	0.29	99.71
No 100	0.15	0.20	0.12	99.59
No 200	0.075	0.90	0.52	99.07

**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	19.8	22.6	20.9
Peso suelo seco + lata (gr)	17.2	19.0	18.1
Peso de lata (gr)	12.1	11.1	11.3
Contenido de humedad, %	50.1	46.2	42.0
Número de golpes, N	16	24	34

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	17.7	17.1	
Peso suelo seco + lata (gr)	16.4	15.9	
Peso de lata (gr)	12.0	11.8	
Contenido de humedad, %	29.2	29.1	

LIMITE LIQUIDO: 45.5 %

LIMITE PLASTICO: 29.1 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 16.4 %

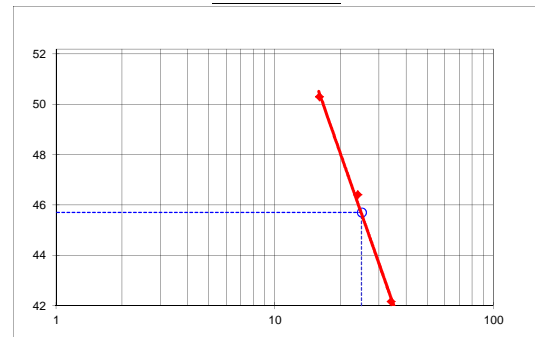
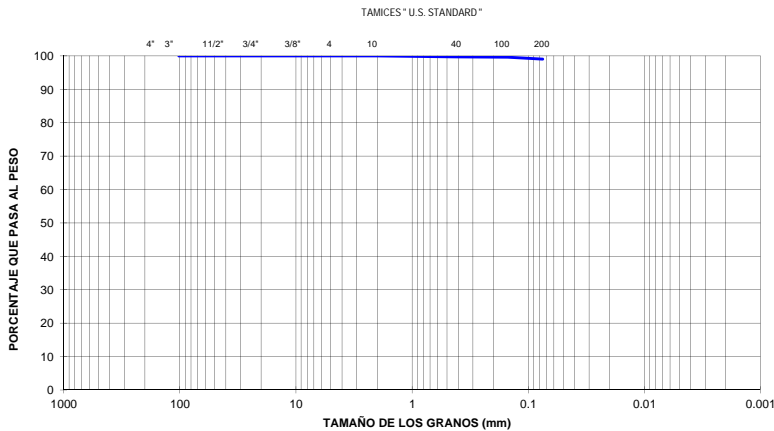
CLASIFICACION S.U.C.S.: ML

CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: % PASA 200 REAL 99.07 %

LINEA A: 18.615

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_c=(D30)^2/D10 \times D60$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

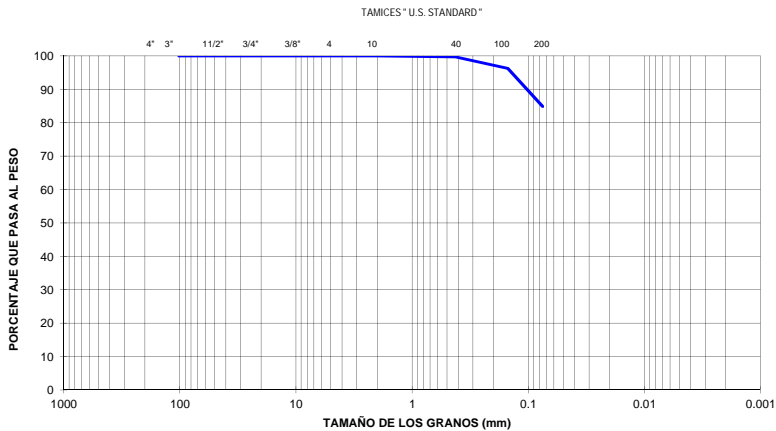
SONDEO: PT-DP-3

PROFUNDIDAD: 1,00 - 1,50

MUESTRA: 3

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		189.0 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	0.60	0.32	99.68
No 100	0.15	6.50	3.44	96.24
No 200	0.075	21.40	11.32	84.92



**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	23.8	33.8	23.2
Peso suelo seco + lata (gr)	20.2	30.0	19.8
Peso de lata (gr)	8.9	17.1	7.6
Contenido de humedad, %	31.9	29.5	27.9
Número de golpes, N	15	24	38

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	18.4	22.6	
Peso suelo seco + lata (gr)	17.2	21.5	
Peso de lata (gr)	11.2	16.3	
Contenido de humedad, %	20.0	21.2	

LIMITE LIQUIDO: 29.5 %

LIMITE PLASTICO: 20.6 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 8.9 %

CLASIFICACION S.U.C.S.: CL

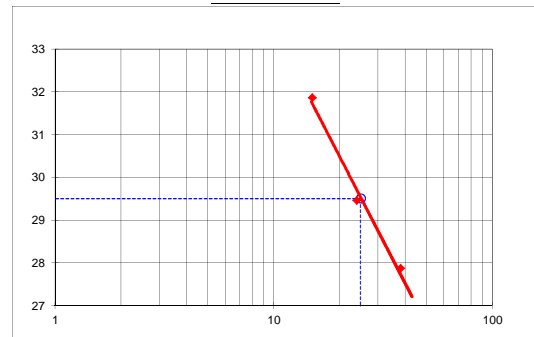
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: CL

% PASA 200 REAL: 84.92 %

LINEA A: 6.935

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

SONDEO: PT-DP-3

PROFUNDIDAD: 4,50 - 5,00

MUESTRA: 10

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		176.8 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	0.30	0.17	99.83
No 100	0.15	26.00	14.71	85.12
No 200	0.075	47.30	26.75	58.37

**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)			
Peso suelo seco + lata (gr)			
Peso de lata (gr)			
Contenido de humedad, %			
Número de golpes, N			

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)			
Peso suelo seco + lata (gr)			
Peso de lata (gr)			
Contenido de humedad, %			

LIMITE LIQUIDO: NL %

LIMITE PLASTICO: NP %

INDICE DE PLASTICIDAD: NL-NP %

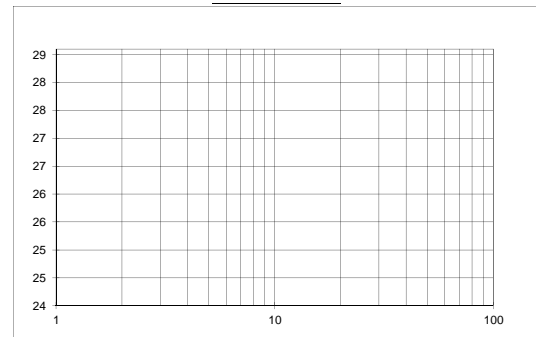
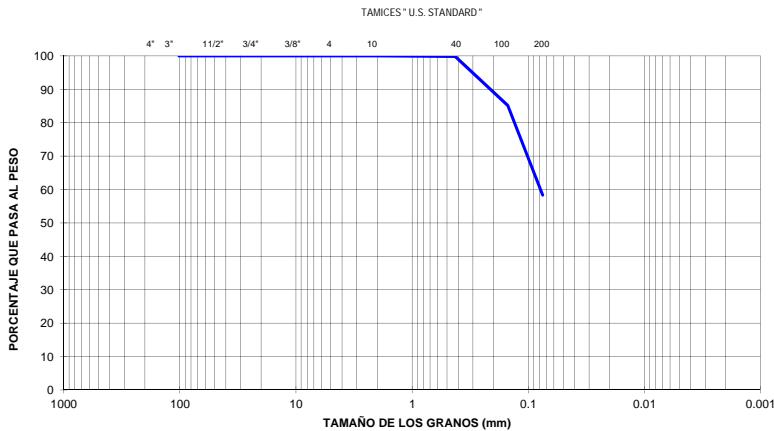
CLASIFICACION S.U.C.S.: ML

CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: % PASA 200 REAL 58.37 %

LINEA A: N/A

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_c=(D30)^2 / D10 \times D60$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

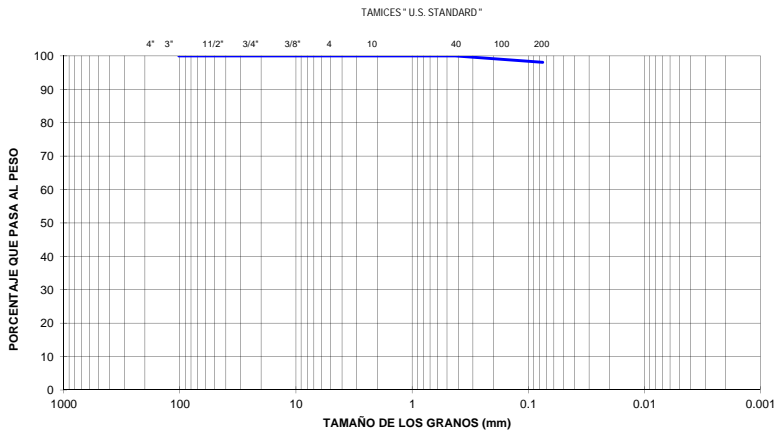
SONDEO: PT-DP-3

PROFUNDIDAD: 7,00 - 7,50

MUESTRA: 15

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		153.7 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425			100.00
No 100	0.15	1.70	1.11	98.89
No 200	0.075	1.20	0.78	98.11



**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	28.5	30.6	27.5
Peso suelo seco + lata (gr)	21.9	23.9	21.4
Peso de lata (gr)	10.4	11.6	9.6
Contenido de humedad, %	57.4	54.5	51.7
Número de golpes, N	15	27	40

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	20.8	22.3	
Peso suelo seco + lata (gr)	18.1	19.4	
Peso de lata (gr)	7.9	8.8	
Contenido de humedad, %	26.5	27.4	

LIMITE LIQUIDO: 54.6 %

LIMITE PLASTICO: 26.9 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 27.7 %

CLASIFICACION S.U.C.S.: CH

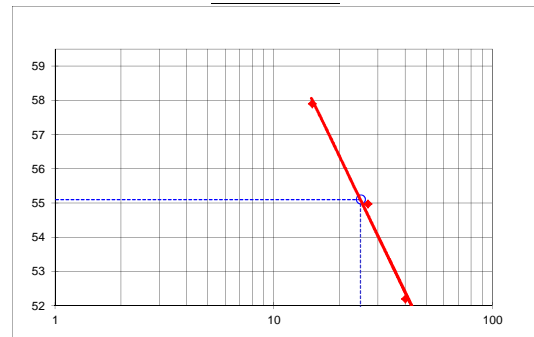
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: C<sub>C=(D30)²/D10xD60, entre 1 y 3</sub>

% PASA 200 REAL: 98.11 %

LINEA A: 25.258

C<sub>u=D60/D10, >6</sub>

C<sub>c=(D30)²/D10xD60, entre 1 y 3</sub>



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA: 11/06/15

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

SONDEO: PT-DP-3

PROFUNDIDAD: 10,50 - 11,00

MUESTRA: 22

**GRANULOMETRIA - ASTM D 6913/ NTC 1522**

Peso Muestra y Tara		164.8 g		
Peso Tara		0 g		
Tamiz		Peso Retenido	% Retenido	% Pasa
(Nº)	(mm)			
4	101.6			100.00
3	76.1			100.00
2½	64			100.00
2	50.8			100.00
1½	38.1			100.00
1	25			100.00
¾	19			100.00
½	12.7			100.00
3/8	9.5			100.00
No 4	4.75			100.00
No 10	2			100.00
No 40	0.425	10.00	6.07	93.93
No 100	0.15	18.40	11.17	82.77
No 200	0.075	22.00	13.35	69.42

**LIMITES DE ATTERBERG - ASTM D 4318-95/NTC 4630**

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	26.8	25.7	28.6
Peso suelo seco + lata (gr)	23.4	22.3	25.1
Peso de lata (gr)	11.3	9.6	10.9
Contenido de humedad, %	28.1	26.8	24.6
Número de golpes, N	19	28	40

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO**

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso suelo húmedo + lata (gr)	20.4	22.8	
Peso suelo seco + lata (gr)	18.8	20.8	
Peso de lata (gr)	11.0	11.3	
Contenido de humedad, %	20.5	21.1	

LIMITE LIQUIDO: 27.0 %

LIMITE PLASTICO: 20.8 %

INDICE DE PLASTICIDAD: 6.2 %

CLASIFICACION S.U.C.S.: ML-CL

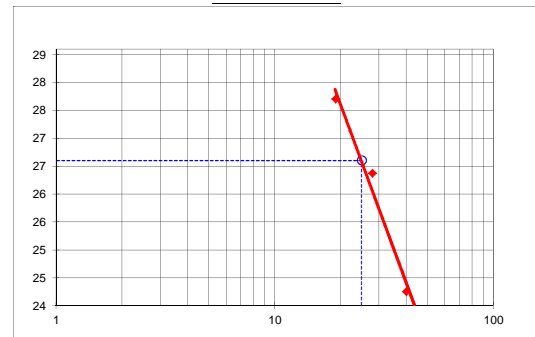
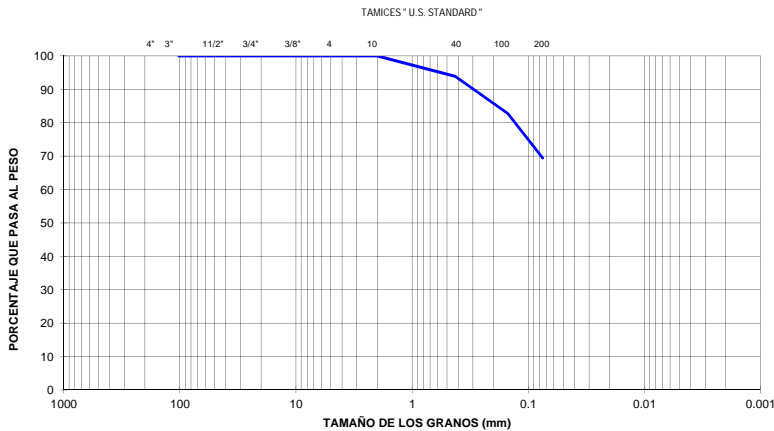
CLASIFICACION A.A.S.T.H.O.: ML-CL

% PASA 200 REAL: 69.42 %

LINEA A: 5.11

$C_{u=D60/D10} > 6$

$C_c = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ , entre 1 y 3



OBSERVACIONES GENERALES:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº. DIRECTOR TECNICO

<b>CLIENTE:</b> FONDO DE ADAPTACIÓN <b>PROYECTO:</b> EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA <b>LOCALIZACION:</b> DIQUE PINILLOS	<b>ORDEN DE TRABAJO:</b> 202-001-15 <b>REFERENCIA:</b> <b>FECHA DE ENSAYO:</b> 10/06/15
---	---

Sondeo: PT-DP-1	Muestra: 4	Profundidad: 1,50 - 2,00
-----------------	------------	--------------------------

ENSAYO N°	UNIDAD	1	2
Peso Pic. + Agua + Suelo = Wbws	g	732.90	
Temperatura	°C	28.0	
Peso Pic. + Agua = Wbw	g	669.50	
Peso Suelo Seco + Tara = T + SS	g	194.50	
Peso Tara = T	g	93.60	
Peso Suelo Seco = Ws	g	100.90	
Peso Agua ; Ww=Ws+Wbw-Wbws	g	37.50	
Gs = Ws/Ww ( $\alpha=1.0$ )	-	2.69	
<b>Gravedad específica promedio</b>	-	<b>2.69</b>	

  
 \_\_\_\_\_  
 INGENIERO DE LABORATORIO

  
 \_\_\_\_\_  
 VºBº DIRECTOR TECNICO



	<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADOS FINOS</b> <b>ASTM D 854-92/NTC 1974</b>	Código: LAB-R-3
		Versión: 4
		Fecha: Febrero 27 de 2012

<b>CLIENTE:</b> <u>FONDO DE ADAPTACIÓN</u> <b>PROYECTO:</b> <u>EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA</u> <b>LOCALIZACION:</b> <u>DIQUE PINILLOS</u>	<b>ORDEN DE TRABAJO:</b> <u>202-001-15</u> <b>REFERENCIA:</b> _____ <b>FECHA DE ENSAYO:</b> <u>10/06/15</u>
--	---

Sondeo: <u>PT-DP-2</u>	Muestra: <u>4</u>	Profundidad: <u>1,50 - 2,00</u>
------------------------	-------------------	---------------------------------

ENSAYO N°	UNIDAD	1	2
Peso Pic. + Agua + Suelo = Wbws	g	733.20	
Temperatura	°C	28.0	
Peso Pic. + Agua = Wbw	g	669.50	
Peso Suelo Seco + Tara = T + SS	g	188.10	
Peso Tara = T	g	88.00	
Peso Suelo Seco = Ws	g	100.10	
Peso Agua ; Ww=Ws+Wbw-Wbws	g	36.40	
Gs = Ws/Ww (α=1.0 )	-	2.74	
<b>Gravedad específica promedio</b>	-	<b>2.74</b>	


  
 \_\_\_\_\_  
**INGENIERO DE LABORATORIO**


  
 \_\_\_\_\_  
**VºBº DIRECTOR TECNICO**

	<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADOS FINOS</b> <b>ASTM D 854-92/NTC 1974</b>	Código: LAB-R-3
		Versión: 4
		Fecha: Febrero 27 de 2012

CLIENTE:	FONDO DE ADAPTACIÓN	ORDEN DE TRABAJO:	202-001-15
PROYECTO:	EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA	REFERENCIA:	
LOCALIZACION:	DIQUE PINILLOS	FECHA DE ENSAYO:	10/06/15

Sondeo:	PT-DP-3	Muestra:	4	Profundidad:	1,50 - 2,00
---------	---------	----------	---	--------------	-------------

ENSAYO N°	UNIDAD	1	2
Peso Pic. + Agua + Suelo = Wbws	g	732.70	
Temperatura	°C	28.0	
Peso Pic. + Agua = Wbw	g	669.50	
Peso Suelo Seco + Tara = T + SS	g	200.90	
Peso Tara = T	g	100.40	
Peso Suelo Seco = Ws	g	100.50	
Peso Agua ; Ww=Ws+Wbw-Wbws	g	37.30	
Gs = Ws/Ww ( $\alpha=1.0$ )	-	2.69	
<b>Gravedad específica promedio</b>	-	<b>2.69</b>	

  
 \_\_\_\_\_  
 INGENIERO DE LABORATORIO

  
 \_\_\_\_\_  
 VºBº DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

SONDEO: PT-DP-1

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA : 11/06/2015

SONDEO	PROFUNDIDAD	MUESTRA	PESO CRISOL	PESO SUELO SECO + CRISOL	PESO SUELO CALCINADO + CRISOL	(%) MATERIA ORGANICA
PT-DP-1	2,00 - 2,50	5	61.7	97.3	94.90	6.74
PT-DP-1	3,00 - 3,50	7	61.4	102.74	99.80	7.10

REMARKS:

*Henry Portino Diaz*

INGENIERO DE LABORATORIO

*[Signature]*

VºBº DIRECTOR TECNICO

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

SONDEO: PT-DP-1

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA : 07/07/2015

SONDEO	PROFUNDIDAD	MUESTRA	PESO CRISOL	PESO SUELO SECO + CRISOL	PESO SUELO CALCINADO + CRISOL	(%) MATERIA ORGANICA
PT-DP-2	9,00 - 9,50	19	61.25	85.49	83.49	8.25

REMARKS:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



INGENIERO DE LABORATORIO



VºBº DIRECTOR TECNICO



**SUELOS INGENIERIA S.A.S**  
Estudios, diseños y construcciones en geotecnia

ENSAYO DE MATERIA ORGANICA

CODIGO: LAB-R-2

VERSION: 5

FECHA: FEBRERO 27 DE 2012

I.N.V. E-121

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA

SONDEO: PT-DP-1

LOCALIZACION: DIQUE PINILLOS

FECHA : 07/07/2015

SONDEO	PROFUNDIDAD	MUESTRA	PESO CRISOL	PESO SUELO SECO + CRISOL	PESO SUELO CALCINADO + CRISOL	(%) MATERIA ORGANICA
PT-DP-3	14,50 - 15,00	30	64.84	94.81	91.84	9.91

REMARKS:

INGENIERO DE LABORATORIO

VºBº DIRECTOR TECNICO

**PESO UNITARIO POR DESPLAZAMIENTO  
ASTM D 7263-09**

CODIGO: LAB-R-56

Versión: 01

Fecha: Abril 14 de 2015

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN  
REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLO

FECHA: 01/07/2015

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	N° DE MUESTRA	PESO MUESTRA HUMEDA (g)	PESO MUESTRA HUMEDA + PARAFINA (g)	PARAFINA (g/cm³)	Δ VOLUMEN (cm³)	PESO UNITARIO POR DESPLAZAMIENTO (g/cm³)
PT-DP - 1	2,00 - 2,50	5	24.85	30.6	0.9	20.00	1.83
PT-DP- 1	6,00 - 6,50	13	17.93	24.5	0.9	17.50	1.76
PT-DP- 1	8,50 - 9,00	18	19.2	24.9	0.9	17.50	1.72
PT-DP- 1	10,00 - 10,50	21	21.77	25.3	0.9	17.50	1.60

OBSERVACIONES

---



---



---

*[Firma]*

INGENIERO LABORATORIO

*[Firma]*

DIRECTOR TECNICO

**PESO UNITARIO POR DESPLAZAMIENTO  
ASTM D 7263-09**

CODIGO: LAB-R-56

Versión: 01

Fecha: Abril 14 de 2015

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN  
REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLO

FECHA: 01/07/2015

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	N° DE MUESTRA	PESO MUESTRA HUMEDA (g)	PESO MUESTRA HUMEDA + PARAFINA (g)	PARAFINA (g/cm³)	Δ VOLUMEN (cm³)	PESO UNITARIO POR DESPLAZAMIENTO (g/cm³)
PT-DP - 2	0,50 - 1,00	2	24.5	30.1	0.9	20.00	1.78
PT-DP - 2	2,00 - 2,50	5	22.75	28.4	0.9	20.00	1.66
PT-DP - 2	3,00 - 3,50	7	23.5	26.5	0.9	17.50	1.66
PT-DP - 2	7,00 - 8,50	16	23.14	23.9	0.9	15.00	1.63

OBSERVACIONES

---



---



---

*[Firma]*

INGENIERO LABORATORIO

*[Firma]*

DIRECTOR TECNICO

**PESO UNITARIO POR DESPLAZAMIENTO  
ASTM D 7263-09**

CODIGO: LAB-R-56

Versión: 01

Fecha: Abril 14 de 2015

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN  
REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLO

FECHA: 01/07/2015

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	N° DE MUESTRA	PESO MUESTRA HUMEDA (g)	PESO MUESTRA HUMEDA + PARAFINA (g)	PARAFINA (g/cm³)	Δ VOLUMEN (cm³)	PESO UNITARIO POR DESPLAZAMIENTO (g/cm³)
PT-DP - 3	5,00 - 5,50	11	26.67	31.5	0.9	20.00	1.82
PT-DP - 3	5,50 - 6,00	12	26.65	31.5	0.9	20.00	1.83

OBSERVACIONES

---



---



---

*[Firma]*

INGENIERO LABORATORIO

*[Firma]*

DIRECTOR TECNICO



**PESO UNITARIO  
ASTM D 2937-71**

CODIGO: LAB-R-19

Versión:5

Fecha: Febrero 27 de 2012

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN  
REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLO

FECHA: 07/07/2015

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	N° DE MUESTRA	PESO (g)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO UNITARIO (g/cm³)
PT-DP-1	8,50 - 9,00	18	123.0	3.7	6.4	1.79

OBSERVACIONES

---

---

---

*Henry Portillo Diaz*

INGENIERO LABORATORIO

*[Signature]*

DIRECTOR TECNICO

**PESO UNITARIO  
ASTM D 2937-71**

CODIGO: LAB-R-19

Versión:5

Fecha: Febrero 27 de 2012

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN  
REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLO

FECHA: 07/07/2015

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	N° DE MUESTRA	PESO (g)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO UNITARIO (g/cm³)
PT-DP-2	3,00 - 3,50	7	93.6	3.5	5.3	1.84

OBSERVACIONES

---

---

---

*Henry Portillo Diaz*

INGENIERO LABORATORIO

*[Signature]*

DIRECTOR TECNICO

**PESO UNITARIO  
ASTM D 2937-71**

CODIGO: LAB-R-19

Versión:5

Fecha: Febrero 27 de 2012

CLIENTE: FONDO DE ADAPTACIÓN

ORDEN DE TRABAJO: 202-001-15

PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN  
REGION DE LA MOJANA

LOCALIZACION: DIQUE PINILLO

FECHA: 07/07/2015

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	N° DE MUESTRA	PESO (g)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO UNITARIO (g/cm³)
PT-DP-3	5,50 - 6,00	12	95.5	3.5	5.2	1.91

OBSERVACIONES

---

---

---

*Henry Portillo Diaz*

INGENIERO LABORATORIO

*[Signature]*

DIRECTOR TECNICO

**CLIENTE:** FONDO DE ADAPTACIÓN  
**PROYECTO:** EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA  
**FECHA:** jul-15

**ORDEN DE TRABAJO:** 202-001-15  
**LOCALIZACIÓN:** DIQUE PINILLOS  
**MUESTRA:** PT-DP-1 (11,00 - 11,50)

**FORMULARIO 1: INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y ETAPA DE CONSOLIDACIÓN**

**Información de la muestra:**

Diámetro (D): 6.041 cm  
Área inicial ( $A_0$ ): 28.66 cm<sup>2</sup>  
Altura inicial ( $H_0$ ): 2.60 cm  
Volumen ( $V_0$ ): 74.52 cm<sup>3</sup>

**Muestra 1**  
**Muestra 2**  
**Muestra 3**

W hum	W seco	Hum.	hum (g/cm <sup>3</sup> )	seca (g/cm <sup>3</sup> )	norm	Peso aplicado	real
125.1 g	110.0 g	13.7%	1.68	1.48	150 kPa	4.80 kg	150.72 kPa
126.0 g	110.4 g	14.1%	1.69	1.48	200 kPa	6.35 kg	199.39 kPa
124.5 g	108.7 g	14.5%	1.67	1.46	300 kPa	9.55 kg	299.87 kPa

**FORMULARIO 2: RESULTADOS**

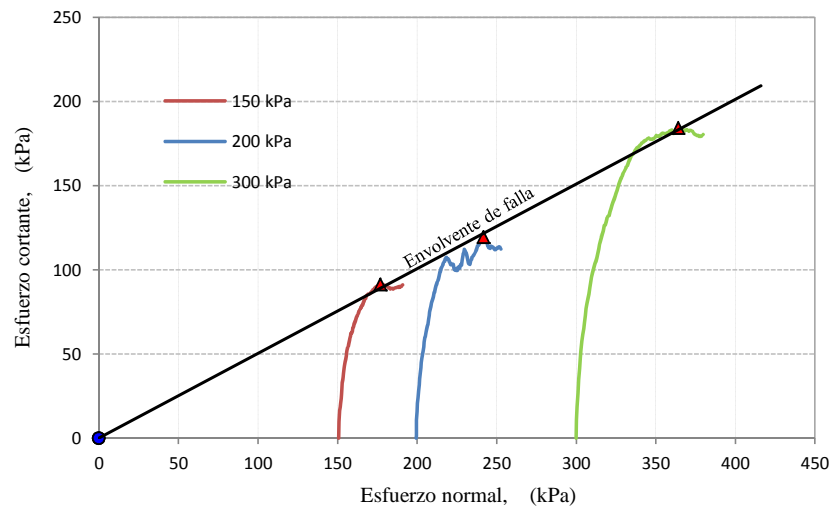
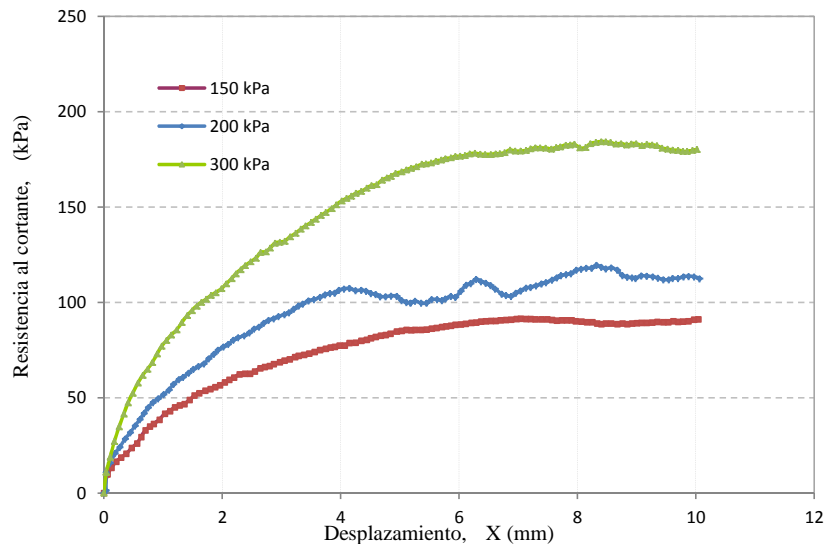
Pesos unitarios	
γ hum. (g/cm <sup>3</sup> )	1.68
Humedad (%)	14.1%
γ seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.47

Resistencia Pico	
Norm. (kPa)	(kPa)
176.90	91.45
241.60	119.54
364.10	184.38

Parám. de resistencia pico	
pico (°)	27
C pico (kPa)	0.0

Resistencia Residual	
Norm. (kPa)	(kPa)

Parám. de resistencia residual	
residual (°)	
C residual (kPa)	



**OBSERVACIONES GENERALES:**


Director Tecnico

Ingeniero de Laboratorio

**CLIENTE:** FONDO DE ADAPTACIÓN  
**PROYECTO:** EVALUACION GEOTECNICA PARA OBRAS DE PROTECCIÓN REGION DE LA MOJANA  
**FECHA:** jul-15

**ORDEN DE TRABAJO:** 202-001-15  
**LOCALIZACIÓN:** DIQUE PINILLOS  
**MUESTRA:** PT-DP-1 (12,00 - 12,50)

**FORMULARIO 1: INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y ETAPA DE CONSOLIDACIÓN**

**Información de la muestra:**

Diámetro (D): 6.041 cm  
Área inicial ( $A_0$ ): 28.66 cm<sup>2</sup>  
Altura inicial ( $H_0$ ): 2.60 cm  
Volumen ( $V_0$ ): 74.52 cm<sup>3</sup>

**Muestra 1**  
**Muestra 2**  
**Muestra 3**

W hum	W seco	Hum.	hum (g/cm <sup>3</sup> )	seca (g/cm <sup>3</sup> )	norm	Peso aplicado	real
127.8 g	113.1 g	13.0%	1.71	1.52	150 kPa	4.80 kg	150.72 kPa
127.6 g	112.8 g	13.1%	1.71	1.51	200 kPa	6.35 kg	199.39 kPa
125.6 g	111.5 g	12.6%	1.69	1.50	300 kPa	9.55 kg	299.87 kPa

**FORMULARIO 2: RESULTADOS**

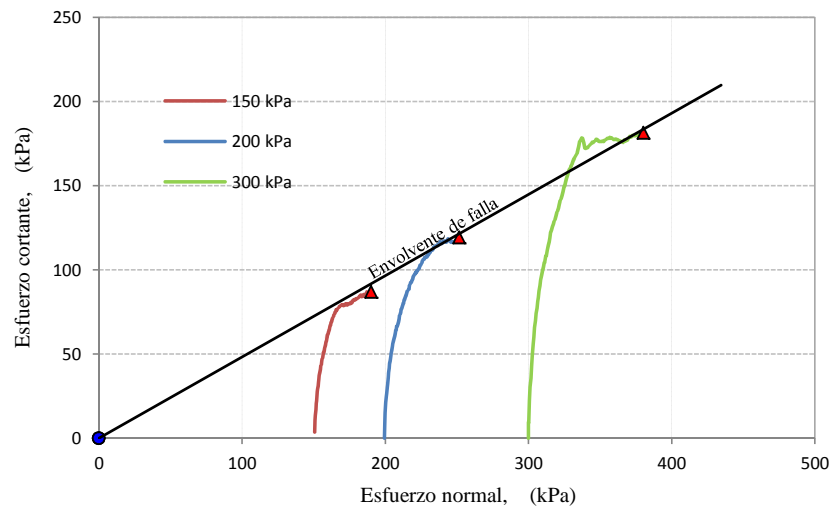
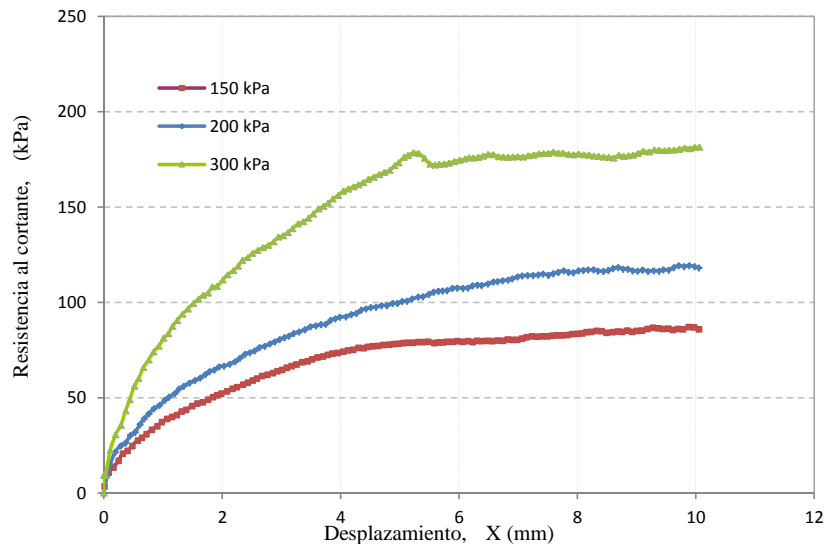
Pesos unitarios	
γ hum. (g/cm <sup>3</sup> )	1.70
Humedad (%)	12.9%
γ seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.50

Resistencia Pico	
Norm. (kPa)	(kPa)
190.10	87.13
251.60	119.40
380.10	181.47

Parám. de resistencia pico	
pico (°)	26
C pico (kPa)	0.0

Resistencia Residual	
Norm. (kPa)	(kPa)

Parám. de resistencia residual	
residual (°)	
C residual (kPa)	



**OBSERVACIONES GENERALES:**

Director Tecnico

Ingeniero de Laboratorio



PROYECTO:	LA MOJANA	CÓDIGO: CO-R-7
CLIENTE:	FONDO ADAPTACIÓN	VERSIÓN: 2
LOCALIZACIÓN:	N 8.94445° - O 74.50008°	
		FECHA: FEBRERO 27 DE 2012

REGISTRO DE PERMEABILIDAD IN-SITU		PERFORACIÓN No.:	DPN-1	FECHA:	28/05/2015
DESCRIPCIÓN DEL ESTRATO:	Estructura del dique: Limo arenoso Suelo de fundación: Arcilla Limosa	COTA TERRENO (m):	22.00	COTA TUBERIA SUP (m):	22.00
		COTA N.A.F (m):	6.00	COTA TUBERIA INF (m):	7.00
		Diametro Tubería, D (m):	0.10		

TIEMPO (min)	VOLUMEN DE AGUA (cm3)	▲ H (cm)
14	N/A	5.00
21	N/A	10.00
35	N/A	15.00
43	N/A	20.00
54	N/A	25.00
84	N/A	30.00

k (m/s)	6.45E-06
---------	----------

PERFORADOR : ASISTENTE:	SERGIO ANGULO DALDO TORREGROSA - LUIS JIMENEZ	ING RESIDENTE: Marly Manjarrez	SUPERVISOR: Luzmilio Tolosa
----------------------------	--	-----------------------------------	--------------------------------



PROYECTO:	LA MOJANA	CÓDIGO: CO-R-7
CLIENTE:	FONDO ADAPTACIÓN	VERSIÓN: 2
		FECHA: FEBRERO 27 DE 2012
LOCALIZACIÓN:	N 8.94295° - O 74.49828°	

REGISTRO DE PERMEABILIDAD IN-SITU		PERFORACIÓN No.:	DPN-3	FECHA:	30/05/2015
DESCRIPCIÓN DEL ESTRATO:	Estructura del dique: Limo arenoso Suelo de fundación: Arcilla Limosa	COTA TERRENO (m):	22.00	COTA TUBERIA SUP (m):	22.00
		COTA N.A.F (m):	6.00	COTA TUBERIA INF (m):	7.00
		Diametro Tubería, D (m):	0.10		

TIEMPO (min)	VOLUMEN DE AGUA (cm3)	▲ H (cm)
15	N/A	10.00
30	N/A	20.00
50	N/A	30.00
70	N/A	40.00
90	N/A	50.00

k (m/s)	9.86E-06
---------	----------

PERFORADOR :	SERGIO ANGULO	ING RESIDENTE:	Marly Manjarrez	SUPERVISOR:	Luzmilio Tolosa
ASISTENTE:	DALDO TORREGROSA - LUIS JIMENEZ				

# REGISTROS DE PERFORACIÓN

## SPT



REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACIÓN No. PT-DP-1

FECHA DE INICIO: MAYO 28-2015

N.A.F :

EQUIPO.:

ANGULO

FECHA DE FINALIZACION: MAYO 28-2015

6.0 m

TRIPODE

90°

PESO DEL MARTILLO TOMA MUESTRA: 140 lb.

CAIDA: 76 cm

CAMISA DE MARTILLO W:

PROFUNDIDAD (m)	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR			MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD		NUCLEOS		RQD	DESCRIPCIÓN DEL SUELO O ROCA	SÍMBOLO	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE CAMISA	GOLPES/PIES SOBRE CAMISA	PRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE(Kg./cm <sup>2</sup> )
	N1	N2	N3		DESDE	HASTA	Nº Y TAMAÑO DE PIEZAS	% DE RECUPARACION								
-0.5	5	4	5	1	0.0	0.5		50%		ARCILLA limosa de color marrón claro, humedad baja, consistencia media.		SS				
-1.0	6	8	7	2	0.5	1.0		50%				SS				
-1.5	8	7	6	3	1.0	1.5		30%		ARCILLA limosa de color marrón claro, humedad media, consistencia media.		SS				
-2.0	8	6	6	4	1.5	2.0		30%				SS				
-2.5	8	8	8	5	2.0	2.5		50%		ARCILLA limosa de color marrón claro, humedad media.		SS				
-3.0	7	7	7	6	2.5	3.0		50%				SS				
-3.5	6	7	8	7	3.0	3.5		40%		ARCILLA limosa de color marrón oscuro, humedad media.		SS				
-4.0	10	6	6	8	3.5	4.0		40%		LIMO arenoso con presencia de mica, humedad media		SS				
-4.5	6	7	8	9	4.0	4.5		50%		ARENA muy fina con arcilla, limo, y mica, color marrón humedad media, cementación moderada.		SS				
-5.0	8	6	6	10	4.5	5.0		50%				SS				

PERFORADOR : SERGIO ANGULO

SUPERVISOR: MARLY MANJARRÉS M.

ASISTENTE: DALDO TORREGROSA - LUIS JIMENÉZ

DIGITALIZO: JULIANA GUTIERREZ

NOTA:

S.S: CUCHARA PARTIDA

A.U: AUGER

H.Q NUCLEO PUNTA

S.T. TUBO SHELBY

H.W NUCLEO PUNTA

**PERFORACION No. PT-DP-1**

PROFUNDIDAD (m)	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR			MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD		NUCLEOS			DESCRIPCIÓN DEL SUELO O ROCA	SÍMBOLO	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE CAMISA	GOLPES/PIES	SOBRE CAMISA	PRESIÓN (Kg./cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE(Kg./cm <sup>2</sup> )
	N1	N2	N3		DESDE	HASTA	No. Y TAMAÑO DE PIEZAS	% DE RECUPERACION	RQD								
-5.0	3	3	4	11	5.0	5.5		40%		ARENA muy fina con arcilla, limo, y mica, color marrón humedad media, cimentación moderada.		SS					
-5.5	LAVADO				5.5	6.0						AU					
-6.0	4	5	5	13	6.0	6.5		50%		ARCILLA con poca presencia de arena fina y mica, humedad media, color hábano oscuro, consistencia suave.		SS					
-6.5	4	3	3	14	6.5	7.0		50%				SS					
-7.0	5	5	6	15	7.0	7.5		40%		ARCILLA limosa con mica, humedad media, color hábano claro, cimentación débil		SS					
-7.5	5	7	8	16	7.5	8.0		40%				SS					
-8.0	6	8	7	17	8.0	8.5		50%		ARCILLA de color gris, humedad media, consistencia firme, con presencia de materia orgánica.		SS					
-8.5	8	7	7	18	8.5	9.0		50%				SS					
-9.0	4	5	5	19	9.0	9.5		50%		ARCILLA con presencia de mica, humedad alta, color hábano, consistencia suave, con presencia de materia orgánica		SS					
-9.5												SS					

PERFORADOR : SERGIO ANGULO

ASISTENTE: DALDO TORREGROSA - LUIS JIMENÉZ

SUPERVISOR: MARLY MANJARRÉS M.

DIGITALIZO: JULIANA GUTIERREZ

**NOTA:**

S.S: CUCHARA PARTIDA

A.U: AUGER

H.Q NUCLEO PUNTA

S.T. TUBO SHELBY

H.W NUCLEO PUNTA

## PERFORACIÓN No. PT-DP-1

[illegible]

PERFORADOR : SERGIO ANGULO

ASISTENTE: DALDO TORREGROSA - LUIS JIMENÉZ

SUPERVISOR: MARLY MANJARRÉS M.

DIGITALIZO: JULIANA GUTIERREZ

**NOTA:**

S.S: CUCHARA PARTIDA	A.U: AUGER	H.Q	NUCLEO PUNTA
----------------------	------------	-----	--------------

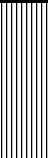
A.U: AUGER                      H.Q      NUCLEO PUNTA

H.Q	NUCLEO PUNTA
-----	--------------

S.T. TUBO SHELBY	H.W	NUCLEO PUNTA
------------------	-----	--------------

H.W	NUCLEO PUNTA
-----	--------------

PERFORACION No. PT-DP-1

PROFUNDIDAD (m)	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR			MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD		NUCLEOS			DESCRIPCIÓN DEL SUELO O ROCA	SÍMBOLO	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE CAMISA	GOLPES/PIES SOBRE CAMISA	PRESIÓN (Kg./cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE(Kg./cm <sup>2</sup> )
					DESDE	HASTA	No. Y TAMAÑO DE PIEZAS	% DE RECUPARACION	RQD							
	N1	N2	N3													
14.5	LAVADO			30	14.5	15.0						SS				
-15.0	FIN DE LA PERFORACION															
-15.5																
-16.0																
-16.5																
-17.0																
-17.5																
-18.0																
-18.5																
-19.0																
-19.5																

PERFORADOR : SERGIO ANGULO		SUPERVISOR: MARLY MANJARRÉS M.	
ASISTENTE: DALDO TORREGROSA - LUIS JIMENÉZ		DIGITALIZO: JULIANA GUTIERREZ	
NOTA:			
S.S: CUCHARA PARTIDA		A.U: AUGER	
S.T. TUBO SHELBY		H.Q NUCLEO PUNTA	
		H.W NUCLEO PUNTA	

REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACIÓN No. PT-DP-2

FECHA DE INICIO: MAYO 29-2015

N.A.F :

EQUIPO.:

ANGULO

FECHA DE FINALIZACION: MAYO 29-2015

4.0m

TRIPODE

90°

PESO DEL MARTILLO TOMA MUESTRA: 140 lb.

CAIDA: 76 cm

CAMISA DE MARTILLO W:

PROFUNDIDAD (m)	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR			MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD		NUCLEOS			DESCRIPCIÓN DEL SUELO O ROCA	SÍMBOLO	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE CAMISA	GOLPES/PIES SOBRE CAMISA	PRESIÓN (Kg./cm²)	ESFUERZO CORTANTE(Kg./cm²)
							No. Y TAMAÑO DE PIEZAS	% DE RECUPERACION	RQD							
	N1	N2	N3		DESDE	HASTA										
-0.5	1	1	1	1	0.0	0.5		30%		ARCILLA limosa de color marrón, humedad media, consistencia blanda, presencia de vegetación y mica.	SS					
-1.0	3	3	5	2	0.5	1.0		70%			SS					
-1.5	5	5	6	3	1.0	1.5		70%			SS					
-2.0	5	6	6	4	1.5	2.0		70%		ARCILLA limosa de color marrón claro, humedad baja, consistencia moderada, presencia de vegetación y mica.	SS					
-2.5	5	5	5	5	2.0	2.5		70%			SS					
-3.0	4	5	8	6	2.5	3.0		70%			SS					
-3.5	7	7	8	7	3.0	3.5		70%		ARCILLA limosa de color marrón claro, humedad baja, consistencia moderada, presencia de vegetación y mica	SS					
-4.0	2	3	4	8	3.5	4.0		60%			SS					
-4.5	4	5	8	9	4.0	4.5		100%			SS					
-5.0	4	4	3	10	4.5	5.0		70%		ARCILLA color hábano claro, humedad alta cimentación débil,con presencia de mica.	SS					

PERFORADOR : NESTOR BARRETO

SUPERVISOR: MANUEL ANDRADE

ASISTENTE: DALDO TORREGROSA - LUIS JIMENEZ

DIGITALIZO: JULIANA GUTIERREZ

NOTA:

S.S: CUCHARA PARTIDA

A.U: AUGER

H.Q NUCLEO PUNTA

S.T. TUBO SHELBY

H.W NUCLEO PUNTA

## PERFORACION No. PT-DP-2

PROFUNDIDAD (m)	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR			MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD		NUCLEOS			DESCRIPCIÓN DEL SUELO O ROCA	SÍMBOLO	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE CAMISA	GOLPES/PIES	SOBRE CAMISA	PRESIÓN (Kg./cm²)	ESFUERZO CORTANTE(Kg./cm²)	
							No. Y TAMAÑO DE PIEZAS	% DE RECUPERACION	ROD									
	N1	N2	N3		DESDE	HASTA												
-5.0	3	4	3	11	5.0	5.5		70%		ARCILLA de color marrón, con vetas gris, humedad media, consistencia firme con presencia de materia orgánica	SS							
-5.5	5	6	4	12	5.5	6.0		70%										
-6.0	5	4	5	13	6.0	6.5		50%		ARCILLA de color marrón, con vetas gris, humedad media, consistencia blanda, con presencia de materia orgánica.	SS							
-6.5	3	4	4	14	6.5	7.0		70%		ARCILLA de color marrón, con vetas gris, humedad media, consistencia blanda, con presencia de materia orgánica	SS							
-7.0	3	4	4	15	7.0	7.5		80%			SS							
-7.5	4	4	5	16	7.5	8.0		20%		ARCILLA de color marrón, vetas gris, humedad media, consistencia blanda	SS							
-8.0	3	4	4	17	8.0	8.5		50%		ARCILLA de color marrón, con presencia de materia orgánica, humedad media, consistencia blanda.	SS							
-8.5	4	5	4	18	8.5	9.0		50%			SS							
-9.0	4	5	5	19	9.0	9.5		60%		ARCILLA de color marrón, con presencia de materia orgánica, humedad media, consistencia blanda.	SS							
-9.5	5	4	6	20	9.5	10.0		60%		LIMO de color marrón, humedad media, consistencia firme.	SS							
-10.0										FIN DE LA PERFORACIÓN								
PERFORADOR : NESTOR BARRETO										SUPERVISOR: MANUEL ANDRADE								
ASISTENTE: DALDO TORREGROSA - LUIS JIMENEZ										DIGITALIZO: J.GUTIERREZ								
NOTA:																		
S.S: CUCHARA PARTIDA						A.U: AUGER						H.Q NUCLEO PUNTA						
S.T. TUBO SHELBY												H.W NUCLEO PUNTA						

REGISTRO DE PERFORACION

PERFORACIÓN No. PT-DP-3

FECHA DE INICIO: MAYO 30-2015

N.A.F :

EQUIPO.:

ANGULO

FECHA DE FINALIZACION: MAYO 30-2015

5.0m

TRIPODE

90°

PESO DEL MARTILLO TOMA MUESTRA: 140 lb.

CAIDA: 76 cm

CAMISA DE MARTILLO W:

PROFUNDIDAD (m)	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR			MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD		NUCLEOS		ROD	DESCRIPCIÓN DEL SUELO O ROCA	SÍMBOLO	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE CAMISA	GOLPES/PIES	SOBRE CAMISA	PRESIÓN (Kg./cm²)	ESFUERZO CORTANTE(Kg./cm²)
	N1	N2	N3		DESDE	HASTA											
							Nº Y TAMAÑO DE PIEZAS	% DE RECUPERACION									
-0.5	6	7	7	1	0.0	0.5		60%		ARCILLA de color marrón claro, consistencia media, humedad baja con presencia de mica.		SS					
-1.0	4	5	5	2	0.5	1.0		50%				SS					
-1.5	4	3	3	3	1.0	1.5		30%		ARCILLA de color marrón claro, consistencia media, humedad baja con presencia de mica		SS					
-2.0	7	7	7	4	1.5	2.0		30%				SS					
-2.5	5	6	6	5	2.0	2.5		80%		ARENA limosa con presencia de arcilla color marrón claro humedad baja.		SS					
-3.0	4	4	6	6	2.5	3.0		50%		LIMO arcilloso de color marrón, humedad media, consistencia baja		SS					
-3.5	4	5	5	7	3.0	3.5		60%				SS					
-4.0	6	6	7	8	3.5	4.0		60%				SS					
-4.5	4	5	4	9	4.0	4.5		50%		LIMO arcilloso de color marrón, humedad media, consistencia baja, con presencia de mica		SS					
-5.0	4	5	4	10	4.5	5.0		50%		LIMO con humedad media, con presencia de mica.		SS					

PERFORADOR : SERGIO ANGULO

SUPERVISOR: MARLY MANJARREZ

ASISTENTE: DALDO TORREGROSA- LUIS JIMENEZ

DIGITALIZO: JULIANA GUTIERREZ

NOTA:

S.S: CUCHARA PARTIDA

A.U: AUGER

H.Q NUCLEO PUNTA

S.T. TUBO SHELBY

H.W NUCLEO PUNTA

## PERFORACION No. PT-DP-3

PROFUNDIDAD (m)	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR			MUESTRA N°	PROFUNDIDAD		NUCLEOS			DESCRIPCIÓN DEL SUELO O ROCA	SIMBOLO	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE CAMISA	GOLPES/PIES	SOBRE CAMISA	PRESIÓN (Kg./cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE(Kg./cm <sup>2</sup> )
							No. Y TAMAÑO DE PIEZAS	% DE RECUPERACION	RQD								
	N1	N2	N3		DESDE	HASTA											
-5.0	3	5	6	11	5.0	5.5		50%		ARCILLA de color marrón, con vetas grises y rocosa Humedad Media consistencia suave.		SS					
-5.5	3	3	4	12	5.5	6.0		25%		ARCILLA de color marrón, con vetas grises y rocosa Humedad Media consistencia suave, humedad baja.		SS					
-6.0	3	1	2	13	6.0	6.5		50%				SS					
-6.5	3	5	6	14	6.5	7.0		50%		ARCILLA de color marrón, con vetas grises y rocosa Humeda Media consistencia suave, humedad baja, con presencia de materia organica.		SS					
-7.0	5	5	5	15	7.0	7.5		40%				SS					
-7.5	7	7	7	16	7.5	8.0		30%		ARCILLA de color marrón, con vetas grises y rocosa Humeda Media consistencia suave, humedad baja, con presencia de materia organica.		SS					
-8.0	3	4	3	17	8.0	8.5		20%		ARCILLA de alta plasticidad ,consistencia dura, humedad media, color gris, con presencia de materia orgánica.		SS					
-8.5	3	4	4	18	8.5	9.0		50%				SS					
-9.0	4	4	3	19	9.0	9.5		60%		ARCILLA de color marrón, con vetas grises y rocosa Humeda Media consistencia suave, humedad baja, con presencia de materia organica.		SS					
-9.5	6	4	5	20	9.5	10.0		60%				SS					

PERFORADOR : SERGIO ANGULO

ASISTENTE: DALDO TORREGROSA- LUIS JIMENEZ

SUPERVISOR: MARLY MANJARREZ

DIGITALIZO: JULIANA GUTIERREZ

NOTA:

S.S: CUCHARA PARTIDA

S.T. TUBO SHELBY

A.U: AUGER

H.Q NUCLEO PUNTA

H.W NUCLEO PUNTA



PERFORACIÓN No. PT-DP-3																	
PROFUNDIDAD (m)	ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR			MUESTRA Nº	PROFUNDIDAD		NUCLEOS			DESCRIPCIÓN DEL SUELO O ROCA	SÍMBOLO	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE CAMISA	GOLPES/PIES	SOBRE CAMISA	PRESIÓN (Kg./cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE(Kg./cm <sup>2</sup> )
	N1	N2	N3		DESDE	HASTA	No. Y TAMAÑO DE PIEZAS	% DE RECUPERACION	ROD								
-10.0	4	4	4	21	10.0	10.5		20%		ARCILLA de alta plasticidad de consistencia baja, humedad media, color gris, presencia de materia orgánica		SS					
-10.5	2	3	2	22	10.5	11.0		50%		LIMO color gris oscuro, humedad media, cimentación débil, con mica.		SS					
-11.0	3	4	3	23	11.0	11.5		50%		LIMO con presencia de arcilla y mica, color gris oscuro, humedad media.		SS					
-11.5	3	2	3	24	11.5	12.0		50%		ARCILLA de color gris con vetas marrón, humedad media, consistencia blanda.		SS					
-12.0	3	2	2	25	12.0	12.5		70%		LIMO arcilloso con mica, color gris oscuro humedad media, consistencia suave		SS					
-12.5	4	5	5	26	12.5	13.0		50%		LIMO arcilloso con mica, color gris oscuro humedad media, consistencia suave, con presencia de materia orgánica.		SS					
-13.0	5	5	4	27	13.0	13.5		60%				SS					
-13.5	7	8	7	28	13.5	14.0		60%				SS					
-14.0	6	7	7	29	14.0	14.5		55%				SS					
-14.5	6	6	7	30	14.5	15.0		50%		LIMO arcilloso con mica, color gris oscuro humedad media consistencia suave.							
-15.0										FIN DE LA PERFORACIÓN							

PERFORADOR : SERGIO ANGULO	SUPERVISOR: MARLY MANJARREZ
ASISTENTE: DALDO TORREGROSA- LUIS JIMENEZ	DIGITALIZO: JULIANA GUTIERREZ

NOTA:  
S.S: CUCHARA PARTIDA      A.U: AUGER      H.Q      NUCLEO PUNTA  
S.T. TUBO SHELBY      H.W      NUCLEO PUNTA

## REGISTROS FOTOGRAFICOS DE LAS MUESTRAS

PT-DPN-1



PT-DPN-2





## PT-DPN-3 (CAJA 1)



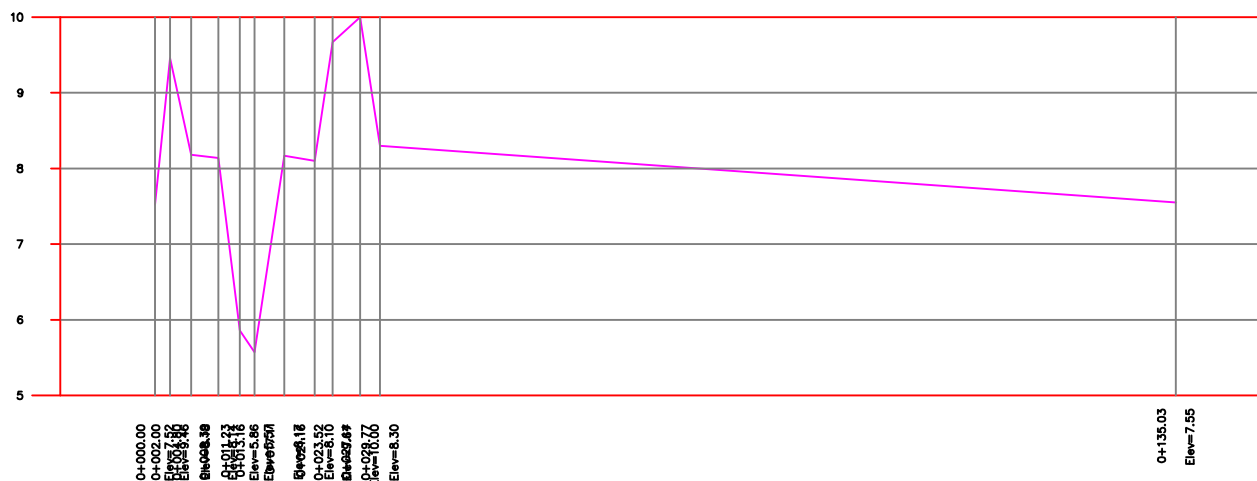
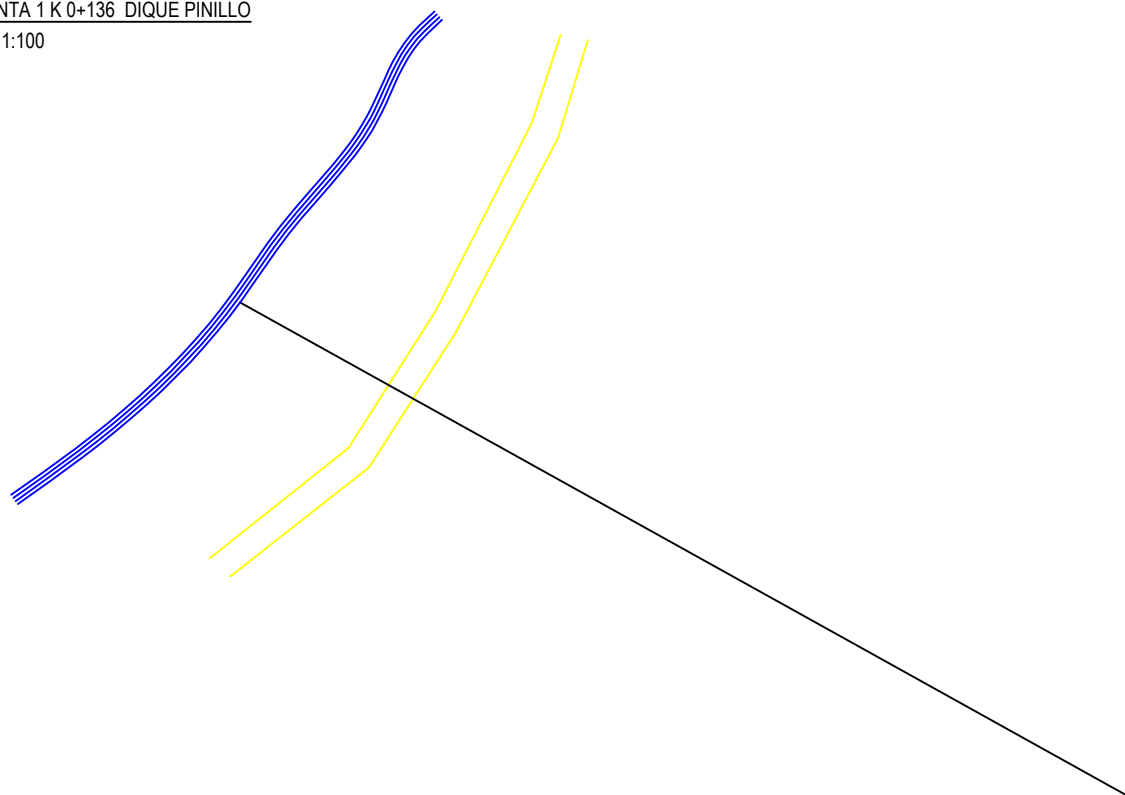
## PT-DPN-3 (CAJA 2)



## **ANEXO G.**

### **TOMOGRAFIAS Y SECCIONES TOPOGRAFICAS**

## Esc. 1:100



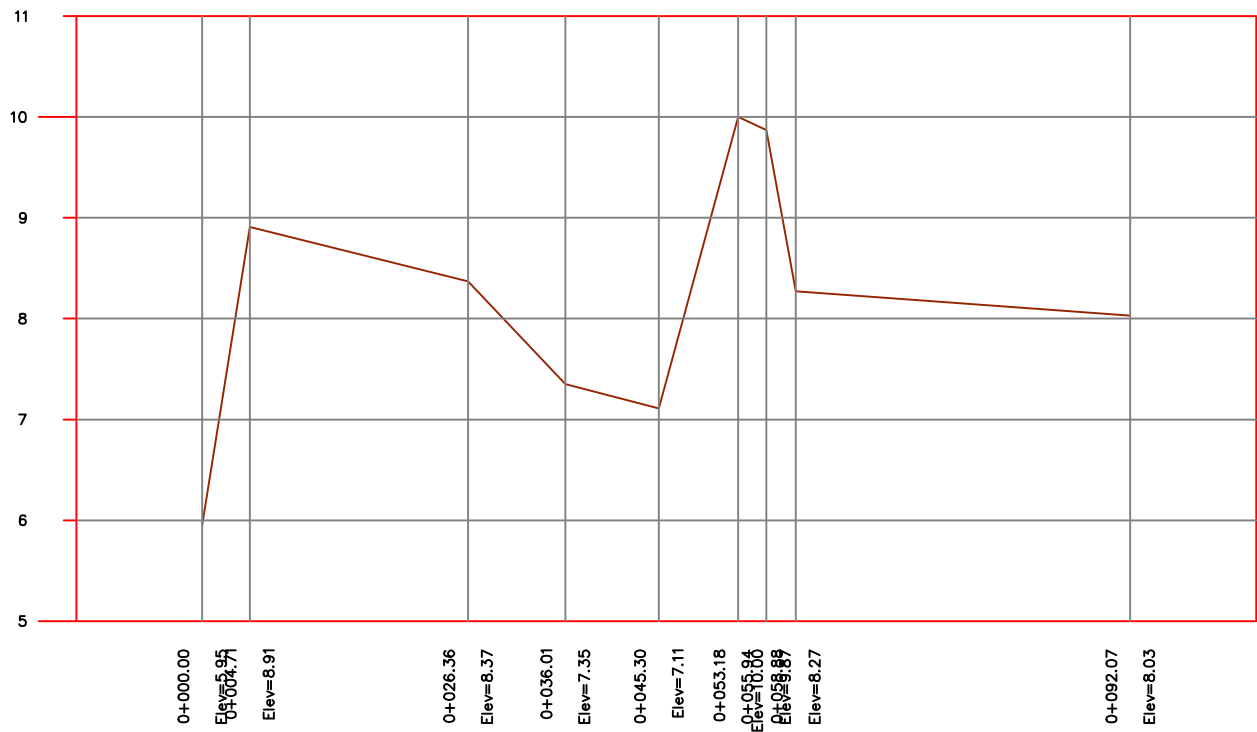
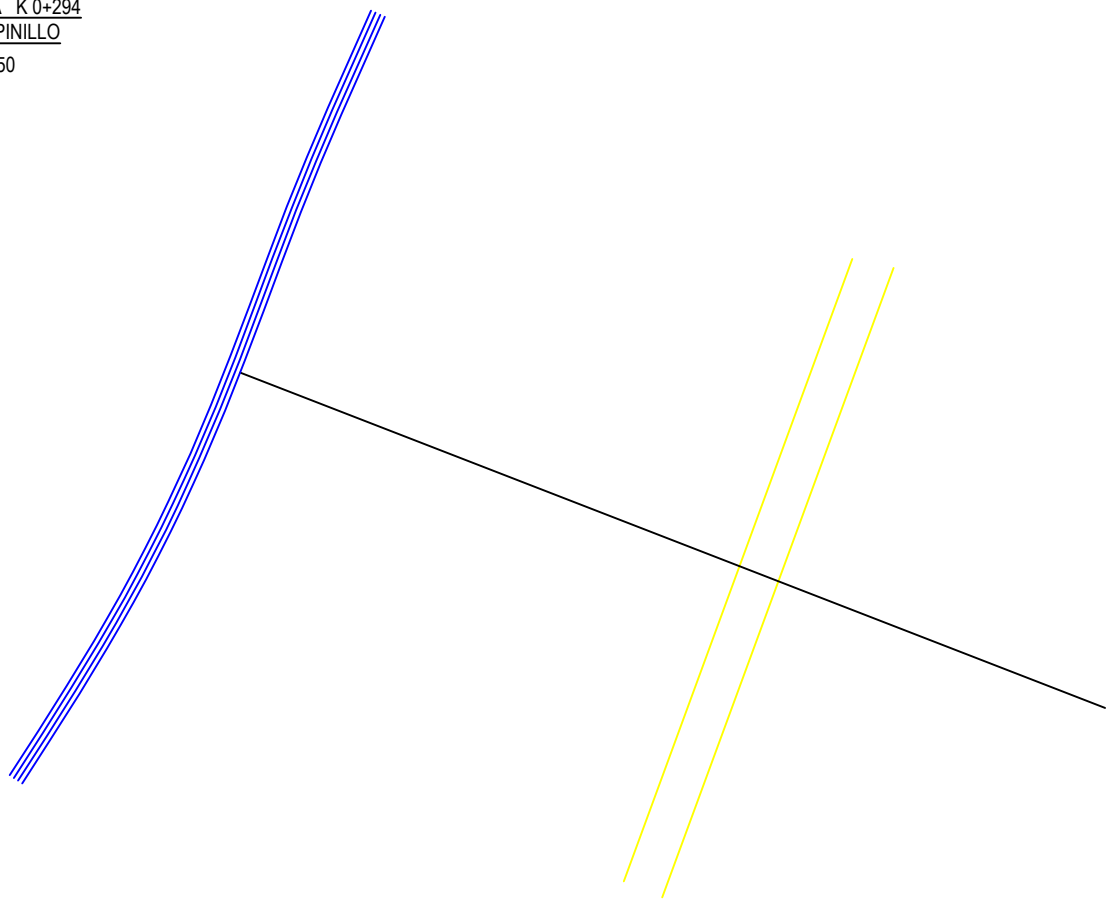
ESC.VERTICAL 1:100

CONVENIONES:							
0	28-07-2015	VERSION ORIGINAL		W/H	J/G	V/B	
Nº.	FECHA	REVISIONES		DIBUJO	REVISION	APROBO	

SI SUELOS INGENIERIA S.A.S. Estudios, diseños y construcciones en geotecnia						CAL
DISEÑO:	REVISO:	D. CASTILLO		APROBO:	A. DURAN	
DIBUJO:	J. GUTIERREZ	FECHA:	JULIO 2015	PLANO N°:		
CONTIENE:				SECCION TOPOGRAFICA 1 - DIQUE PINILLOS		
				PROYECTO: EVALUACION GEOTECNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCION HIDRAULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL MUÑO DE LA REGION DE LA MOJANA		



PLANTA K 0+294  
DIQUE PINILLO  
Esc. 1:750



SECCION TRANSVERSAL K 0+294  
DIQUE PINILLO  
Esc. Horizontal 1:750  
Esc. Vertical 1:75

CONVENCIONES										<div>SI SUELOS INGENIERIA S.A.S.</div> <div>Estudios, diseños y construcciones en geotecnia</div>				CAD
DISEÑO		REVISOR		APROBADO		REV. No.								
DIBUJO		FECHA		PLANO No.		0								
J. GUTIERREZ		JULIO 2015												
CONTIENE:										SECCIÓN TOPOGRÁFICA 2 - DIQUE PINILLOS				
										<div><div>Fondo Adaptación</div><div>PROYECTO:</div><div>EVALUACION GEOTECNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCION HIDRAULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NUCLEO DE LA REGION DE LA MOJANA</div></div>				
D		08-07-2015		VERSION ORIGINAL		W.H		J.G		V.B				
No.		FECHA		REVISIONES		DIBUJO		REVISION		APROBADO				

ULLOA Y DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.



**[INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA]**

Este documento presenta el resultado de la exploración geofísica realizada la cual incluye ensayos de Tomografía Eléctrica realizados por Ulloa y Diez Ltda. Los ensayos se encuentran ubicados en el sector de la Mojana.



**PROYECTO:** INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA  
Project :  
**CONTRATISTA:** ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.  
Contractor:  
**COPIA:** DIGITAL  
Copy:  
**REVISIÓN** **HOJA**  
Revision Sheet  
0 1 DE 93  
Of

**NOMBRE DEL CLIENTE:** SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

**NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

# **SI SUELOS INGENIERÍA S.A.S.**

**Estudios, diseños y construcciones en geotecnia**

## **INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA**

P	19 JUNIO 2015	EMISIÓN FINAL	GUSTAVO LOPEZ	JOHN NARVAEZ LIZ VALBUENA	ALEJANDRO ULLOA	ALEJANDRO ULLOA
<b>REVISIÓN</b>	<b>FECHA DE REVISIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA REVISIÓN</b>	<b>PROCESÓ</b>	<b>ELABORÓ</b>	<b>REVISO</b>	<b>AUTORIZÓ</b>
Revisión	Revision Date	Revision Description	Indicted by	Prepared by	Approved by	Authorized by



PROYECTO: INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA  
Project :  
  
CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.  
Contractor:  
  
COPIA: DIGITAL  
Copy:  
  
REVISIÓN  
Revision  
0  
  
HOJA  
Sheet  
2 DE 93  
Of

NOMBRE DEL CLIENTE: SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION .....	8
2.	OBJETIVOS .....	9
3.	LOCALIZACION .....	10
4.	MARCO TEÓRICO .....	13
4.1.	EXPLORACIÓN CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS .....	13
4.2.	SONDEOS ELÉCTRICOS EN 2D (OMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS). .....	15
4.2.1	PSEUDOSECCIÓN .....	16
4.2.2	TOMOGRAFÍA .....	16
5	RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN REALIZADA .....	18
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 1_(DM-N)-T .....	20
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2_(DM-N)-L Y 3_(DM-N)-L .....	23
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 4_(DMN-SJ)-T Y 5_(DMN-SJ)-L .....	27
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 6_(DMN-SJ)-L Y 7_(DMN-SJ)-T .....	32
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 8_(DMN-SJ)-T .....	36
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 9_(DMN-SJ)-L .....	39
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 10_(DMSJ-A)-L, 11_(DMSJ-A)-L Y 12_(DMSJ-A)-L .....	42
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 13_(DMSJ-A)-L .....	47
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 14_(DS-A)-L, 15_(DS-A)-L Y 16_(DS-A)-L .....	50
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 17_(SBA)-L .....	55
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 18_(SBA)-L .....	58
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 19_(SBA)-L .....	61
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 20_(SBA)-L .....	64
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 21_(P)-L Y 22_(P)-L .....	67
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 23_(M)-L .....	71
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 24_(M)-T .....	74
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 25_(M)-T .....	77
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 26_(ER)-T Y 27_(ER)-L .....	80
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 28_(T)-T .....	84
5.1	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 29_(T)-T, 30_(T)-T Y 31_(T)-T .....	87
5	BIBLIOGRAFIA .....	93



PROYECTO: Project :	INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA		
CONTRATISTA: Contractor:	ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.		
COPIA: Copy:	DIGITAL	REVISIÓN Revision	HOJA Sheet
		0	3 DE Of

93

NOMBRE DEL CLIENTE: SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

## TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.a.) Geología vía Nechi - Cauca. a) Panorámica de la línea 1_DMN-T. b) Panorámica de la línea 2_DMN-L. c) Panorámica de la línea 3_DMN-L. d) Arcilla color marrón rojizo con fracción gravosa de cuarzo y fragmentos líticos en superficie, que componen el terraplén. e) Arenas muy finas color gris, ricas en moscovita, que componen la zona de inundación del Rio Cauca. f) Costales con arena fina que al parecer están en la base de algunas zonas del terraplén. ANEXO 2.....	21
Fotografía 2.a.) Geología vía Nechi - Cauca. a) Panorámica de la línea 1_DMN-T. b) Panorámica de la línea 2_DMN-L. c) Panorámica de la línea 3_DMN-L. d) Arcilla color marrón rojizo con fracción gravosa de cuarzo y fragmentos líticos en superficie, que componen el terraplén. e) Arenas muy finas color gris, ricas en moscovita, que componen la zona de inundación del Rio Cauca. f) Costales con arena fina que al parecer están en la base de algunas zonas del terraplén. ANEXO 2.....	24
Fotografía 3. Sector Nechi – San Jacinto del Cauca. a) Panorámica de la línea 4_DMN-SJ-T. b) Panorámica de la línea 5_DMN-SJ-L c) Panorámica de la línea 6_DMN-SJ-L. d) Panorámica de la línea 7_DMN-SJ-T. e) Panorámica de la línea 8_DMN-SJ-T. f) Panorámica de la línea 9_DMN-SJ-L. ANEXO 2 .....	28
Fotografía 4. Geología Vía Nechi – San Jacinto del Cauca. a) Arcilla color marrón la cual compone la mayoría del terraplén de la vía. y b) Arenas muy finas con moscovita la cual compone el terraplén en algunos. c) Arcillolita color blanco con oxidación, que presenta venas de cuarzo en el cerro en cercanías a las líneas 6_DMN-SJ-L y 7_DMN-SJ-T. d) Bloques de cuarzo dentro de material arcilloso en el inicio de la línea 7_DMN-SJ-T. ANEXO 2 .....	29
Fotografía 5. Sector Nechi – San Jacinto del Cauca. a) Panorámica de la línea 4_DMN-SJ-T. b) Panorámica de la línea 5_DMN-SJ-L c) Panorámica de la línea 6_DMN-SJ-L. d) Panorámica de la línea 7_DMN-SJ-T. e) Panorámica de la línea 8_DMN-SJ-T. f) Panorámica de la línea 9_DMN-SJ-L. ANEXO 2 .....	33
Fotografía 6. Sector Nechi – San Jacinto del Cauca. a) Panorámica de la línea 4_DMN-SJ-T. b) Panorámica de la línea 5_DMN-SJ-L c) Panorámica de la línea 6_DMN-SJ-L. d) Panorámica de la línea 7_DMN-SJ-T. e) Panorámica de la línea 8_DMN-SJ-T. f) Panorámica de la línea 9_DMN-SJ-L. ANEXO 2 .....	37
Fotografía 7. Sector Nechi – San Jacinto del Cauca. a) Panorámica de la línea 4_DMN-SJ-T. b) Panorámica de la línea 5_DMN-SJ-L c) Panorámica de la línea 6_DMN-SJ-L. d) Panorámica de la línea 7_DMN-SJ-T. e) Panorámica de la línea 8_DMN-SJ-T. f) Panorámica de la línea 9_DMN-SJ-L. ANEXO 2 .....	40
Fotografía 8. Geología sector San Jacinto del Cauca. a) Panorámica de la línea 10_DMSJ-A-L. b) Panorámica de la línea 11_DMSJ-A-L. c) Panorámica de la línea 12_DMSJ-A-T. d) Panorámica de la línea 13_DMSJ-A-T. e) Material del terraplén, compuesto por arcilla color café claro. f) Arcilla color rojizo en casco urbano del corregimiento de tenche en la zona de inundación del Rio Cauca. ANEXO 2 .....	43
Fotografía 9. Geología sector San Jacinto del Cauca. a) Panorámica de la línea 10_DMSJ-A-L. b) Panorámica de la línea 11_DMSJ-A-L. c) Panorámica de la línea 12_DMSJ-A-T. d) Panorámica de la línea 13_DMSJ-A-T. e) Material del terraplén, compuesto por arcilla color café claro. f) Arcilla color rojizo en casco urbano del corregimiento de tenche en la zona de inundación del Rio Cauca. ANEXO 2 .....	48
Fotografía 10. Geología sector Sehebe (Ayapel). a) Panorámica de la línea 14_DS-A-L. b) Panorámica de la línea 15_DS-A-L. c) Panorámica de la línea 16_DS-A-T. d) Material del dique, compuesto por arcilla marrón que presenta erosión en surcos en algunos sectores. ANEXO 2 .....	51
Fotografía 11. Geología sector Villa de San Benito. a) Panorámica de la línea 17_SBA-L. b) Panorámica de la línea 18_SBA-L c) Panorámica de la línea 19_SBA-L. d) Panorámica de la línea 20_SBA-L. e) Material del dique que esta compuesto de diferentes materiales como arcillas, arenas y gravas color beige y marrón rojizo. f) Material arcilloso del dique color gris claro, con arenas gravosas en la parte superior. ANEXO 2 .....	56
Fotografía 12. Geología sector Villa de San Benito. a) Panorámica de la línea 17_SBA-L. b) Panorámica de la línea 18_SBA-L c) Panorámica de la línea 19_SBA-L. d) Panorámica de la línea 20_SBA-L. e) Material del dique	



PROYECTO: Project :	INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA		
CONTRATISTA: Contractor:	ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.		
COPIA: Copy:	DIGITAL	REVISIÓN Revision	HOJA Sheet
		0	4 DE Of

93

NOMBRE DEL CLIENTE: SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

que está compuesto de diferentes materiales como arcillas, arenas y gravas color beige y marrón rojizo. f) Material arcilloso del dique color gris claro, con arenas gravosas en la parte superior. ANEXO 2 ..... 59

Fotografía 13. Geología sector Villa de San Benito. a) Panorámica de la línea 17\_SBA-L. b) Panorámica de la línea 18\_SBA-L c) Panorámica de la línea 19\_SBA-L. d) Panorámica de la línea 20\_SBA-L. e) Material del dique que está compuesto de diferentes materiales como arcillas, arenas y gravas color beige y marrón rojizo. f) Material arcilloso del dique color gris claro, con arenas gravosas en la parte superior. ANEXO 2 ..... 62

Fotografía 14. Geología sector Villa de San Benito. a) Panorámica de la línea 17\_SBA-L. b) Panorámica de la línea 18\_SBA-L c) Panorámica de la línea 19\_SBA-L. d) Panorámica de la línea 20\_SBA-L. e) Material del dique que está compuesto de diferentes materiales como arcillas, arenas y gravas color beige y marrón rojizo. f) Material arcilloso del dique color gris claro, con arenas gravosas en la parte superior. ANEXO 2 ..... 65

Fotografía 15. Geología sector Pinillos. a) Panorámica de la línea 21\_P-L. b) Panorámica de la línea 22\_P-L. c y d) Material a orillas del Rio Magdalena, compuesto por arcilla marrón rojiza rica en moscovita, que además presentan cárcavas. ANEXO 2 ..... 68

Fotografía 16. Geología sector Magangué. a) Panorámica de la línea 23\_M-L. b) Panorámica de la línea 24\_M-T. c) Panorámica de la línea 25\_M-T. d) Material del dique, compuesto por arcilla marrón rojiza con fracción gravosa de cuarzo y fragmentos líticos en superficie, que además presentan grietas y cárcavas. e) Material zona cerca al espejo de agua de la ciénaga de Magangué, que está compuesto por arenas mal seleccionadas de granos fino a grueso color gris. f) Material zona plana de inundación de la ciénaga, compuesto por suelo arcilloso beige. ANEXO 2 ..... 72

Fotografía 17. Geología sector Magangué. a) Panorámica de la línea 23\_M-L. b) Panorámica de la línea 24\_M-T. c) Panorámica de la línea 25\_M-T. d) Material del dique, compuesto por arcilla marrón rojiza con fracción gravosa de cuarzo y fragmentos líticos en superficie, que además presentan grietas y cárcavas. e) Material zona cerca al espejo de agua de la ciénaga de Magangué, que está compuesto por arenas mal seleccionadas de granos fino a grueso color gris. f) Material zona plana de inundación de la ciénaga, compuesto por suelo arcilloso beige. ANEXO 2 ..... 75

Fotografía 18. Geología sector Magangué. a) Panorámica de la línea 23\_M-L. b) Panorámica de la línea 24\_M-T. c) Panorámica de la línea 25\_M-T. d) Material del dique, compuesto por arcilla marrón rojiza con fracción gravosa de cuarzo y fragmentos líticos en superficie, que además presentan grietas y cárcavas. e) Material zona cerca al espejo de agua de la ciénaga de Magangué, que está compuesto por arenas mal seleccionadas de granos fino a grueso color gris. f) Material zona plana de inundación de la ciénaga, compuesto por suelo arcilloso beige. ANEXO 2 ..... 78

Fotografía 19. Geología sector El Retiro. a) Panorámica de la línea 26\_ER-T. b) Panorámica de la línea 27\_ER-L. c) Material del dique, compuesto por arcilla marrón rojiza con fracción gravosa de cuarzo y fragmentos líticos en superficie, que además presentan grietas y cárcavas. d) Material zona plana hacia el Rio Magdalena, que está compuesto por arcilla color gris, con leve fracción arenosa fina, y moteo de óxidos de hierro. ANEXO 2..... 81

Fotografía 20. Sector Tacasaluma. a) Panorámica de la línea 28\_T-T. b) Panorámica de la línea 29\_T-T c) Panorámica de la línea 30\_T-T. d) Panorámica de la línea 31\_T-T. ANEXO 2..... 85

Fotografía 21. Sector Tacasaluma. a) Panorámica de la línea 28\_T-T. b) Panorámica de la línea 29\_T-T c) Panorámica de la línea 30\_T-T. d) Panorámica de la línea 31\_T-T. ANEXO 2..... 88

Fotografía 22. Geología sector Tacasaluma. a y b) Material del dique que rodea la ciénaga, compuesto por arcilla marrón rojiza con fracción gravosa de cuarzo y fragmentos líticos en superficie. c) Material zona plana de inundación de la ciénaga, compuesto por arcilla color gris, con leve fracción arenosa fina, y moteo de óxidos de hierro..... 89



**PROYECTO:** INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA  
Project :  
**CONTRATISTA:** ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.  
Contractor:  
**COPIA:** DIGITAL  
Copy:  
**REVISIÓN** **HOJA**  
Revision Sheet  
0 5 DE 93  
Of

**NOMBRE DEL CLIENTE:** SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

**NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las Tomografías Eléctricas realizadas.....	11
Tabla 2. Ubicación tomografías (FA)D .....	19



PROYECTO: INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS  
Project : ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.  
Contractor:

COPIA: DIGITAL  
Copy:

REVISIÓN  
Revision  
0

HOJA  
Sheet  
6

DE  
Of  
93

NOMBRE DEL CLIENTE: SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los ensayos en el sector la Mojana .....	12
Figura 2 .Resistividades de varios materiales Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty 1966 .....	14
Figura 3. Dispositivo Multielectródico o tomografía eléctrica usada en este proyecto .....	15
Figura 4. Pseudosección, primera idea aproximada a la distribución de las resistividades en el subsuelo .....	16
Figura 5. Pseudosecciones (dos imágenes superiores) y tomografía (imagen inferior). Nótese que el resultado final (tomografía) es diferente del preliminar obtenido en las pseudosecciones. ....	17
Figura 6. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	20
Figura 7. Tomografía Eléctrica 1_(DM-N)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	22
Figura 8. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	23
Figura 9. Tomografía Eléctrica 2_(DM-N)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4.....	25
Figura 10. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	27
Figura 11. Tomografía Eléctrica 4_(DMN-SJ)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	30
Figura 12. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	32
Figura 13. Tomografía Eléctrica 6_(DMN-SJ)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4.....	34
Figura 14. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	36
Figura 15. Tomografía Eléctrica 8_(DMN-SJ)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	38
Figura 16. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	39
Figura 17. Tomografía Eléctrica 9_(DMN-SJ)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4.....	41
Figura 18. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	42
Figura 19. Tomografía Eléctrica 10_(DMSJ-A)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	44
Figura 20. Tomografía Eléctrica 11_(DMSJ-A)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	45
Figura 21. Tomografía Eléctrica 12_(DMSJ-A)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	46
Figura 22. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	47
Figura 23. Tomografía Eléctrica 13_(DMSJ-A)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	49
Figura 24. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	50
Figura 25. Tomografía Eléctrica 14_(DS-A)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	52
Figura 26. Tomografía Eléctrica 15_(DS-A)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	53
Figura 27. Tomografía Eléctrica 16_(DS-A)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	54
Figura 28. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	55
Figura 29. Tomografía Eléctrica 17_(SBA)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	57
Figura 30. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	58
Figura 31. Tomografía Eléctrica 18_(SBA)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	60
Figura 32. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	61
Figura 33. Tomografía Eléctrica 19_(SBA)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	63
Figura 34. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	64
Figura 35. Tomografía Eléctrica 20_(SBA)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	66
Figura 36. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	67
Figura 37. Tomografía Eléctrica 21_(P)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	69
Figura 38. Tomografía Eléctrica 22_(P)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	70
Figura 39. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	71
Figura 40. Tomografía Eléctrica 23_(M)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	73
Figura 41. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	74
Figura 42. Tomografía Eléctrica 24_(M)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4.....	76
Figura 43. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1. ....	77
Figura 44. Tomografía Eléctrica 25_(M)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4.....	79





**PROYECTO:** INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA  
Project :  
**CONTRATISTA:** ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.  
Contractor:  
**COPIA:** DIGITAL  
Copy:  
**REVISIÓN** **HOJA**  
Revision Sheet  
0 7 DE 93  
Of

**NOMBRE DEL CLIENTE:** SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

**NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

Figura 45. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1.....	80
Figura 46. Tomografía Eléctrica 26_(ER)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	82
Figura 47. Tomografía Eléctrica 27_(ER)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	83
Figura 48. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1.....	84
Figura 49. Tomografía Eléctrica 28_(T)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	86
Figura 50. Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1.....	87
Figura 51. Tomografía Eléctrica 29_(T)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	90
Figura 52. Tomografía Eléctrica 30_(T)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	91
Figura 53. Tomografía Eléctrica 31_(T)-T. ANEXO 3 Y ANEXO 4 .....	92



<b>PROYECTO:</b> Project :	INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA		
<b>CONTRATISTA:</b> Contractor:	ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.		
<b>COPIA:</b> Copy:	DIGITAL	<b>REVISIÓN</b> Revision	<b>HOJA</b> Sheet
		0	8 DE OF 93

**NOMBRE DEL CLIENTE:** SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

**NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

## 1. INTRODUCCION

Este documento presenta el resultado de la exploración geofísica, el cual incluye ensayos de Tomografía Eléctrica realizados por Ulloa y Diez Ltda., para complementar los estudios geotécnicos en el Canal del Dique.

Para cubrir estos objetivos se proyectaron y realizaron treinta y un (31) Tomografías Eléctricas transversales (T) y Longitudinales (L) al Canal del Dique.

Con este método geofísico se llegó a una profundidad de investigación de 25m en líneas de 120m de longitud (desde la 1 hasta la 11) y de 12m de profundidad de investigación en las líneas de 60m de longitud (desde la 12 hasta la 31).

La exploración realizada se orientó a obtener información básica del subsuelo tal como espesores de depósito aluvial, localización de posibles cárcavas y presencia de agua subterránea.



<b>PROYECTO:</b> Project :	INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA		
<b>CONTRATISTA:</b> Contractor:	ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.		
<b>COPIA:</b> Copy:	DIGITAL	<b>REVISIÓN</b> Revision	<b>HOJA</b> Sheet
		0	9 DE Of
			93

**NOMBRE DEL CLIENTE:** SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

**NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar 31 tomografías eléctricas localizadas en el Sector la Mojana, para complementar la información geotécnica del área.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinación de espesores del depósito aluvial.
- Localizar nivel freático y presencia de aguas subterráneas.



<b>PROYECTO:</b> Project :	INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA		
<b>CONTRATISTA:</b> Contractor:	ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.		
<b>COPIA:</b> Copy:	DIGITAL	<b>REVISIÓN</b> Revision	<b>HOJA</b> Sheet
		0	10 DE OF 93

**NOMBRE DEL CLIENTE:** SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

**NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

### 3. LOCALIZACION

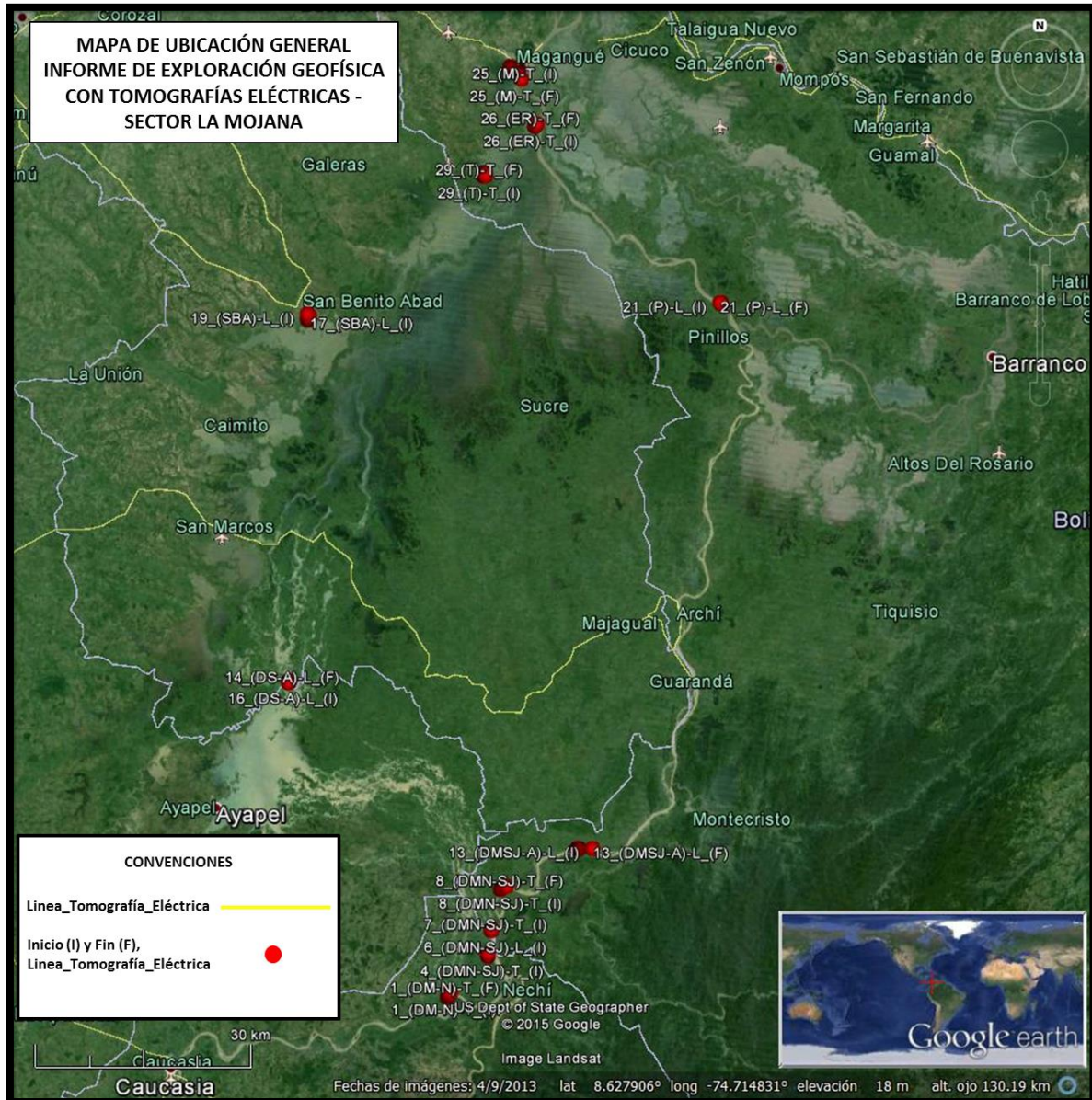
El área de estudio se encuentra ubicado en jurisdicción de los departamentos de Sucre, Bolivar y Córdoba en el Sector de la Mojana.

La ubicación de las Tomografías Eléctricas se muestra en la Figura 1.

El listado de coordenadas tomadas en campo para la elaboración de las Tomografías Eléctricas, se muestran en la Tabla 1.

COORDENADAS ENSAYOS GEOFÍSICOS						
Origen		DATUM		Bogotá E:1000000 N:100000		
Cuadrícula		Origen de Longitud		W74°4.855 (74° 04'51 30")		
		Factor de Escala		1		
		Falso Este		100000		
		Falso Norte		491447.2		
SECCION	TIPO DE ENSAYO	EJECUTADAS				Longitud Programada
		INICIO SECCION		FIN SECCION		
		E	N	E	N	
1_(DM-N)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	915676.0	1385072.0	915749.0	1384995.0	120
2_(DM-N)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	915355.0	1384754.0	915325.0	1384642.0	120
3_(DM-N)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	915269.0	1384434.0	915225.0	1384328.0	120
4_(DMN-SJ)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	921005.0	1390499.0	920931.0	1390410.0	120
5_(DMN-SJ)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	920904.0	1390189.0	920949.0	1390084.0	120
6_(DMN-SJ)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	921498.0	1393777.0	921352.0	1393693.0	120
7_(DMN-SJ)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	921531.0	1393815.0	921456.0	1393902.0	120
8_(DMN-SJ)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	923615.0	1399903.0	923500.0	1399899.0	120
9_(DMN-SJ)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	922771.0	1399488.0	922687.0	1399410.0	120
10_(DMSJ-A)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	933760.0	1405112.0	933646.0	1405099.0	120
11_(DMSJ-A)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	933521.0	1405083.0	933411.0	1405065.0	120
12_(DMSJ-A)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	933443.0	1405070.0	933435.0	1405125.0	60
13_(DMSJ-A)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	935584.0	1405150.0	935592.0	1405099.0	60
14_(DS-A)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	893147.0	1428172.0	893179.0	1428217.0	60
15_(DS-A)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	893226.0	1428425.0	893267.0	1428458.0	60
16_(DS-A)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	893258.0	1428422.4	893225.1	1428453.9	60
17_(SBA)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	896117.0	1479185.0	896169.1	1479150.0	60
18_(SBA)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	895822.0	1478724.0	895865.0	1478689.0	60
19_(SBA)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	895859.0	1479450.0	895891.0	1479407.0	60
20_(SBA)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	896053.0	1478647.0	896103.0	1478670.0	60
21_(P)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	953487.0	1480915.0	953533.0	1480875.5	60
22_(P)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	953705.0	1480749.0	953746.0	1480713.0	60
23_(M)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	924259.0	1513903.0	924258.0	1513847.0	60
24_(M)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	925447.0	1512844.0	925404.0	1512878.0	60
25_(M)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	925828.0	1512098.0	925788.0	1512135.0	60
26_(ER)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	928025.0	1505835.0	927978.0	1505858.0	60
27_(ER)-L	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	927695.0	1505481.0	927639.0	1505475.0	60
28_(T)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	920580.0	1499050.0	920523.0	1499049.0	60
29_(T)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	920792.0	1498656.0	920770.0	1498706.0	60
30_(T)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	920608.0	1498643.0	920585.0	1498692.0	60
31_(T)-T	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	920483.0	1498596.0	920440.0	1498628.0	60
Total:						2520

Tabla 1. Coordenadas de las Tomografías Eléctricas realizadas.



**Figura 1. Localización de los ensayos en el sector la Mojana**



PROYECTO: Project :	INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA			
CONTRATISTA: Contractor:	ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.			
COPIA: Copy:	DIGITAL	REVISIÓN Revision	HOJA Sheet	DE Of
		0	13	93

NOMBRE DEL CLIENTE: SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. EXPLORACIÓN CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS

Las investigaciones de resistividad eléctrica o estudios geoeléctricos dan una imagen de la distribución de resistividad del subsuelo. Para convertir esa imagen en una estructura geológica o geotécnica, es muy importante y necesario conocer como varía este parámetro en los diferentes tipos de materiales que constituyen el subsuelo y en las capas o estratos del área bajo estudio.

En la Figura 2 (Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty 1966), se observa que las rocas ígneas y metamórficas típicamente tienen altos valores de resistividad. La resistividad de estas rocas depende mucho del grado de fracturación que posee, y del porcentaje de agua que rellena las fracturas del terreno.

Las rocas sedimentarias comúnmente son más porosas y tienen un alto contenido de agua, lo que normalmente hace disminuir los valores de resistividad.

Los suelos húmedos, saturados total o parcialmente y el agua fresca del terreno tienen valores aún más bajos. En los suelos arcillosos, las resistividades son normalmente menores que las correspondientes al suelo arenoso. Sin embargo, se destaca que existe una superposición en los valores de resistividad de las diferentes clases de rocas y suelos. Esto es debido a que este parámetro depende de un número de factores tales como la porosidad, el grado de saturación de agua y la concentración de sales disueltas.

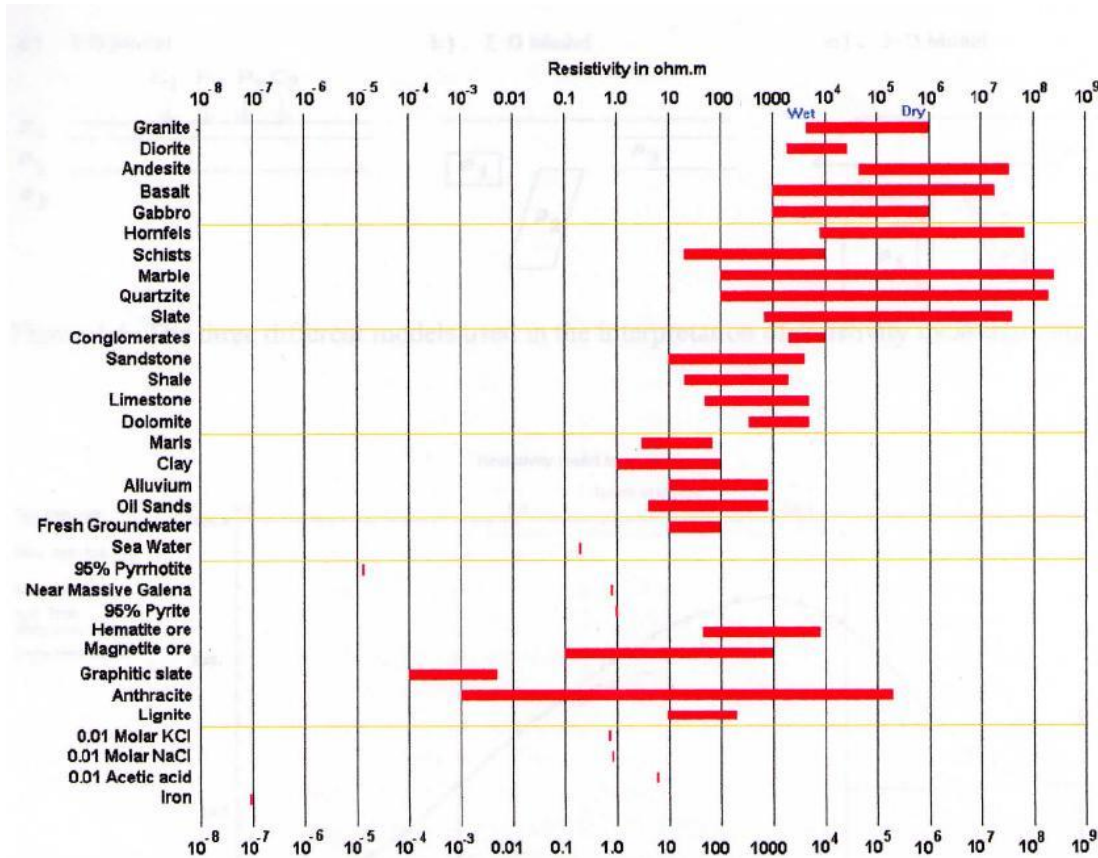
La resistividad del agua del terreno varía desde 10 a 100 ohm-m dependiendo de la concentración de sales disueltas. Nótese que el bajo valor (alrededor de los 0.2 ohm.) en el agua de mar se debe al alto contenido de sal, esto hace que los métodos de resistividad sean técnicas ideales para la planimetría de la interfase de estructuras con contenido de agua fresca y salina.

En la Figura 2 también se muestra el valor de la resistividad de varios contaminantes industriales. Los metales, tal como hierro, tienen valores sumamente bajos. Los químicos, tal como sodio y cloruro de potasio, pueden reducir mucho la resistividad del agua del terreno a menos de 1 ohm-m con moderadas concentraciones. El efecto de electrolitos, tal como el ácido acético, es comparativamente menor. Algunos de los compuestos de hidrocarburos, tal como el Xileno, tienen resistividades muy altas.

Los valores de resistividad tienen un gran rango comparado a otras cantidades físicas obtenidas por otros Métodos Geofísicos. La resistividad de las rocas y el suelo en un área de estudio pueden variar por varios órdenes de magnitud. En comparación, la densidad usada en investigaciones gravimétricas usualmente cambia pero por debajo de un factor de 2, y las velocidades sísmicas normalmente no cambian por más de un factor de 10.

Esto hace que los métodos resistivos y otros métodos eléctricos y electromagnéticos sean técnicas geofísicas muy versátiles.





**Figura 2 .Resistividades de varios materiales Keller y Frischknecht 1966, Daniels y Alberty 1966**

La resistividad real para un medio determinado cambia en todas las direcciones debido a la anisotropía y heterogeneidad del subsuelo. La resolución de estos casos generales implica considerar en el planteo y resolución del problema una mayor cantidad de variables, no tomadas en cuenta en los métodos actualmente utilizados en 1D los cuales la consideran constante en cada estrato o capa del subsuelo, lo que nos lleva a metodologías y modelos matemáticos de mayor complejidad.

Para poder modelar al subsuelo con una distribución arbitraria de resistividades y tomar en cuenta también la variación de otros parámetros que influyen notoriamente en ella (como por ejemplo la topografía (Loke, 2000)), se utiliza para su cálculo los métodos de elementos finitos (Silvestre and Ferrari, 1990) y de diferencias finitas (Dey and Morrison, 1979), los cuales permiten considerar estas variaciones punto a punto y en todas las direcciones en un volumen de terreno considerado.

La determinación y cálculo de resistividad real en 2D y 3D se basa en los algoritmos desarrollados e implementados por M.H. Loke & Barker. (1996).

A través de estos algoritmos se puede optimizar la interpretación de los estudios geoelectricos, pudiéndose obtener la respuesta de ambientes geológicos y anomalías complejas, las cuales no pueden ser solucionadas



satisfactoriamente considerando modelos de distribución de resistividad en una (1D) o a veces en dos dimensiones (2D).

#### 4.2. SONDEOS ELÉCTRICOS EN 2D (OMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS).

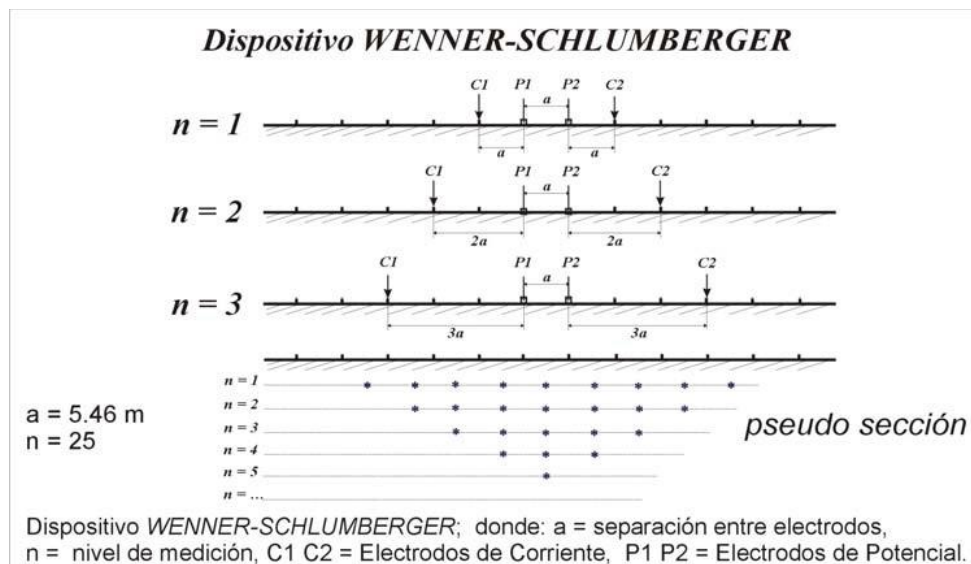
Un modelo más preciso del subsuelo es un modelo bidimensional (2D) donde la resistividad cambia tanto en la dirección vertical como en la dirección horizontal a lo largo de la línea de exploración. En estos casos, se presume que la resistividad en la dirección perpendicular a la línea del sondeo no varía.

En teoría, una investigación de resistividad 3D y la interpretación del modelo 3D debería ser aún más exacta. Sin embargo, en la actualidad, los sondeos 2D son los más prácticos teniendo en cuenta la relación entre los costos y los resultados.

Uno de los nuevos métodos desarrollos en años recientes es el uso de la Tomografía Eléctrica 2D, que pueden obtener mejores resultados en áreas con geología y anomalías moderadamente complejas (Griffiths y Barker 1993). Tales mediciones se efectúan comúnmente usando un número grande de electrodos (25 o más) conectados a un cable multi-núcleo. Una microcomputadora portátil junto con un conector electrónico se usa para automáticamente seleccionar los cuatro electrodos correspondientes para cada medida (Figura 3).

En la actualidad, tanto el equipo como las técnicas de campo para efectuar sondeos de resistividad 2D están bien desarrollados.

La figura 3 muestra la distribución típica para una exploración 2D con un gran número de electrodos a lo largo de una línea. Normalmente se usa una distancia interelectrónica constante entre los electrodos adyacentes.



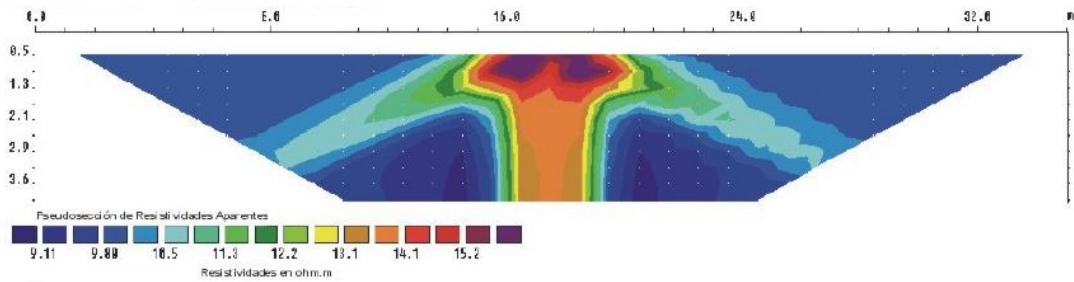
**Figura 3.** Dispositivo Multielectrónico o tomografía eléctrica usada en este proyecto

Para obtener una buena imagen eléctrica del subsuelo en 2D, la cobertura de las medidas también debe ser 2D.

#### 4.2.1 PSEUDOSECCIÓN

Para representar las mediciones en un sondeo eléctrico 2D se utiliza el método de contorneado o pseudosección. En estos casos, la ubicación horizontal del punto de medición se pone en el medio entre los electrodos del arreglo o dispositivo utilizado. La ubicación vertical del punto de medición se dispone a una distancia que es proporcional a la separación entre los electrodos.

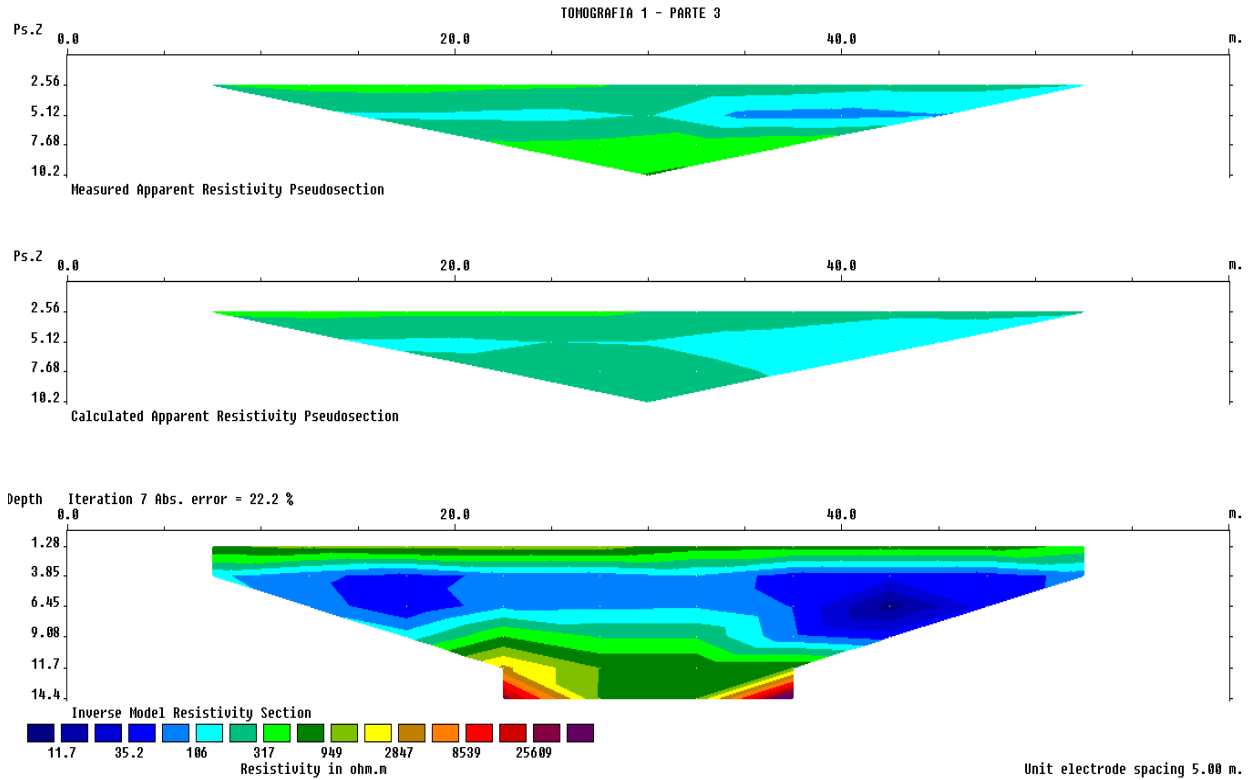
La pseudosección da una idea aproximada de la distribución de resistividad del subsuelo (Figura 4). Sin embargo la pseudosección da una visión deformada del subsuelo, porque la forma de los contornos depende del tipo de arreglo o configuración electródica utilizada, así como también, de la resistividad del subsuelo. Una equivocación común es tratar de usar la pseudosección como una imagen final de resistividad verdadera del subsuelo por esta razón las pseudosecciones no se presentan en el informe.



**Figura 4.** Pseudosección, primera idea aproximada a la distribución de las resistividades en el subsuelo

#### 4.2.2 TOMOGRAFÍA

La tomografía es el resultado final de la exploración y consiste en una imagen similar a la pseudosección (de allí la posibilidad de error y equivocación comentada) pero que contiene las resistividades verdaderas después del cálculo completo. Estas resistividades muestran las variaciones del subsuelo tanto en profundidad como en sentido lateral u horizontal (Figura 5).



**Figura 5.** Pseudosecciones (dos imágenes superiores) y tomografía (imagen inferior). Nótese que el resultado final (tomografía) es diferente del preliminar obtenido en las pseudosecciones.



PROYECTO: INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA  
Project :  
  
CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.  
Contractor:  
  
COPIA: DIGITAL  
Copy:  
  
REVISIÓN  
Revision  
0  
  
HOJA  
Sheet  
18  
DE  
OF  
93

NOMBRE DEL CLIENTE: SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

## 5 RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN REALIZADA

En este capítulo se hace una descripción de los ensayos realizados que permite identificar la distribución de los equipos en campo, su ubicación y características más relevantes para la interpretación de las líneas de geofísica.

La información geológica se correlaciona con la información geofísica para cada uno de los puntos de estudio.

### GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los depósitos aluviales no consolidados cubren un área de 770 Km<sup>2</sup>, se encuentran asociados principalmente a los ríos Cauca, Nechí, Caserí y Caribona y sus tributarios de segundo orden, también a algunos afluentes del río San Jorge y las diferentes ciénagas (Figura 31).

Las terrazas aluviales aparecen como relictos dentro de las llanuras de inundación de los ríos Cauca y Nechí, forman varios niveles escalonados como superficies planas, paralelos a los cursos de los ríos. Sobre las rocas del Grupo Sincelejo se depositaron niveles de gravas de tamaños entre guijos y guijarros con matriz areno lodosa, arenas y limos, de espesores variables. Tomado de la Plancha 83, Geología-Nechí (Departamento de Antioquia), Página 65.

La nomenclatura para cada ensayo de tomografía eléctrica, consiste en el número de la tomografía seguido del Municipio, dirección de la línea y nombre de la sección según la tabla de coordenadas "Ubicación tomografías (FA)D" como se ilustra en el siguiente ejemplo:

1\_(DM-N)-T

Dónde:

- 1: número de tomografía
- (DM – N): Nombre del municipio
- T: Dirección de la tomografía eléctrica

Ver **Tabla 2**.

PROYECTO:  
Project :

INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS  
ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA

CONTRATISTA:  
Contractor:

ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.

COPIA:  
Copy:

DIGITAL

REVISIÓN  
Revision  
0

HOJA  
Sheet  
19

DE  
OF

93

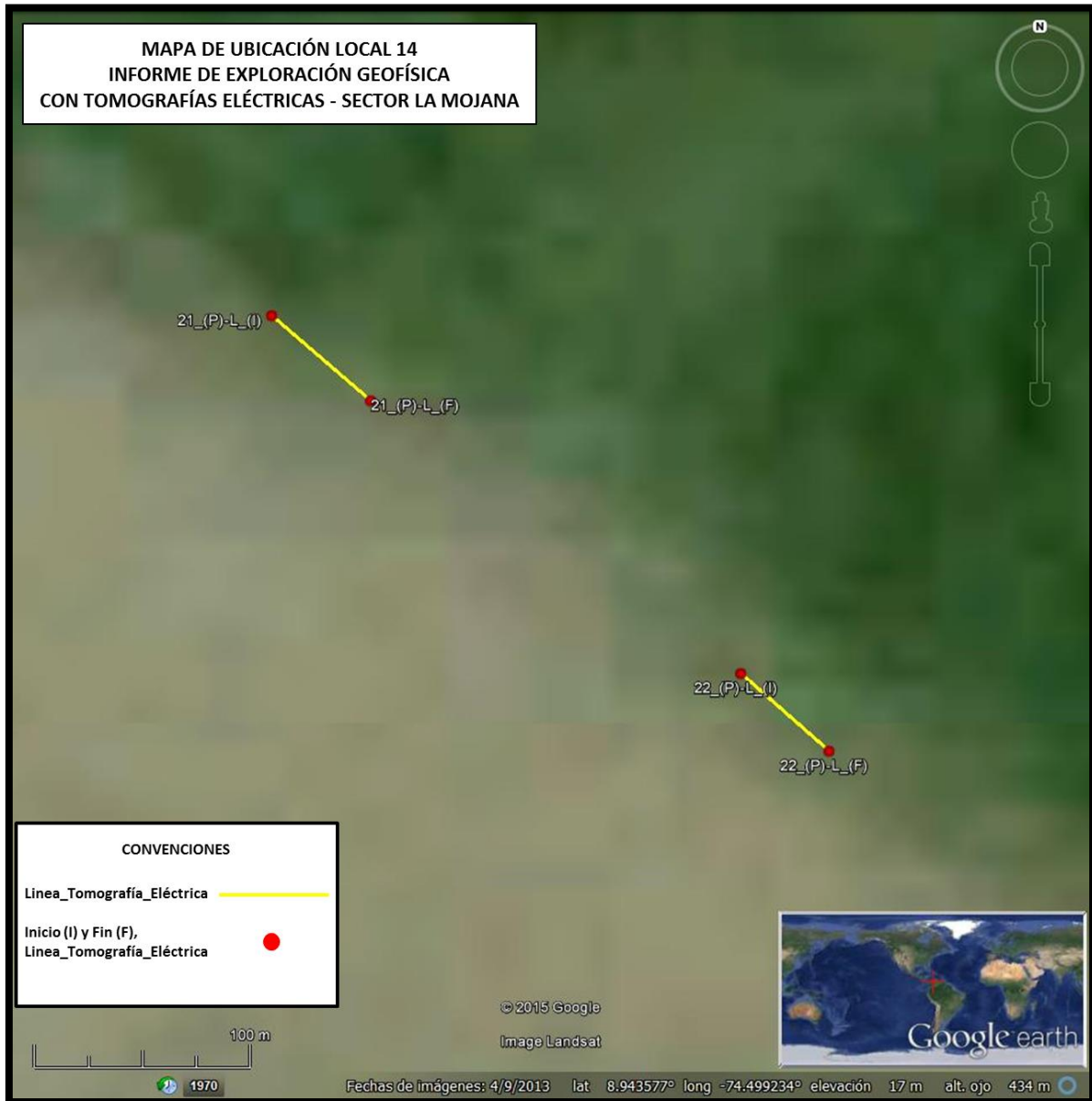
NOMBRE DEL CLIENTE:  
Client Name : SUELOS INGENIERÍA S.A.S.

NÚMERO DOCUMENTO:  
Doc Number : UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA

TOMOGRAFÍAS					
Número de tomografías	Municipio	Latitud	Longitud	Sección	Dirección
1	DiqueMarginal-Nechí	8.077103	-74.843609	(M)	Transversal
2	DiqueMarginal-Nechí	8.074251	-74.845578	(M)	Longitudinal
3	DiqueMarginal-Nechí	8.071135	-74.846371	(M)	Longitudinal
4	DiqueMarginalNechí-SJ	8.1263880	-74.7945650	(M)	Transversal
5	DiqueMarginalNechí-SJ	8.1234830	-74.7950460	(M)	Longitudinal
6	DiqueMarginalNechí-SJ	8.1560320	-74.7907650	(M)	Longitudinal
7	DiqueMarginalNechí-SJ	8.1567910	-74.7899110	(M)	Transversal
8	DiqueMarginalNechí-SJ	8.2117720	-74.7711510	(M)	Transversal
9	DiqueMarginalNechí-SJ	8.2077330	-74.7786890	(M)	Longitudinal
10	Dique marginal San Jacinto - Astilleros	8.258967	-74.678728	(M)	Longitudinal
11	Dique marginal San Jacinto - Astilleros	8.258742	-74.680889	(M)	Longitudinal
12	Dique marginal San Jacinto - Astilleros	8.258536	-74.681294	(M)	Transversal
13	Dique marginal San Jacinto - Astilleros	8.259431	-74.662017	(M)	Transversal
14	Dique sehebe- ayapel	8.466586	8.467025	(I)	Longitudinal
14	Dique sehebe- ayapel	-75.047794	-75.047725	(F)	
15	Dique sehebe aypel	8.469058	8.469361	(I)	Longitudinal
15	Dique sehebe aypel	-75.047119	-75.046808	(F)	
16	Dique sehebe aypel	8.469331	8.469047	(I)	Transversal al dique.
16	Dique sehebe aypel	-75.047122	-75.046822	(F)	
17	San Benito Abat	8.927772	-75.021798	(M)	Longitudinal
18	San Benito Abat	8.923676	-75.024505	(M)	Longitudinal
19	San Benito Abat	8.93007	-75.02413	(M)	Longitudinal
20	San Benito Abat	8.92321	-75.02234	(M)	
21	Pinillos	8.94448	-74.5002	(M)	Longitudinal
22	Pinillos	8.94295	-74.49829	(M)	Longitudinal
23	Magangué	9.2421275	-74.76673944	(M)	Longitudinal
24	Magangué	9.23308	-74.75612	(M)	Trasversal
25	Magangué	9.22606	-74.75234	(M)	Trasversal
26	El Retiro	9.16977	-74.73268	(M)	Transversal
27	El Retiro	9.16635	-74.7355	(M)	Longitudinal
28	Tacasaluma	9.10809193	-74.8004121	(M)	Transversal
29	Tacasaluma	9.10474802	-74.7981516	(M)	Transversal
30	Tacasaluma	9.10474133	-74.7995012	(M)	Transversal
31	Tacasaluma	9.10416603	-74.8010194	(M)	Transversal

**Tabla 2.** Ubicación tomografías (FA)D

## 5.1 TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 21\_(P)-L Y 22\_(P)-L



**Figura 36.** Ubicación Tomografías Eléctricas. ANEXO 1.



**PROYECTO:**  
Project :

INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA

**CONTRATISTA:**  
Contractor:

ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.

**COPIA:**  
Copy:

DIGITAL

**REVISIÓN**  
Revision  
0

**HOJA**  
Sheet  
68

DE  
Of

93

**NOMBRE DEL CLIENTE:**  
Client Name : SUELOS INGENIERÍA S.A.S.

**NÚMERO DOCUMENTO:**  
Doc Number : UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA



**Fotografía 15.** Geología sector Pinillos. a) Panorámica de la línea 21\_P-L. b) Panorámica de la línea 22\_P-L. c y d) Material a orillas del Rio Magdalena, compuesto por arcilla marrón rojiza rica en moscovita, que además presentan cárcavas. ANEXO 2



PROYECTO: INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA  
Project :

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.  
Contractor:

COPIA: DIGITAL  
Copy:

REVISIÓN  
Revision  
0

HOJA  
Sheet  
69 DE 93

NOMBRE DEL CLIENTE: SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

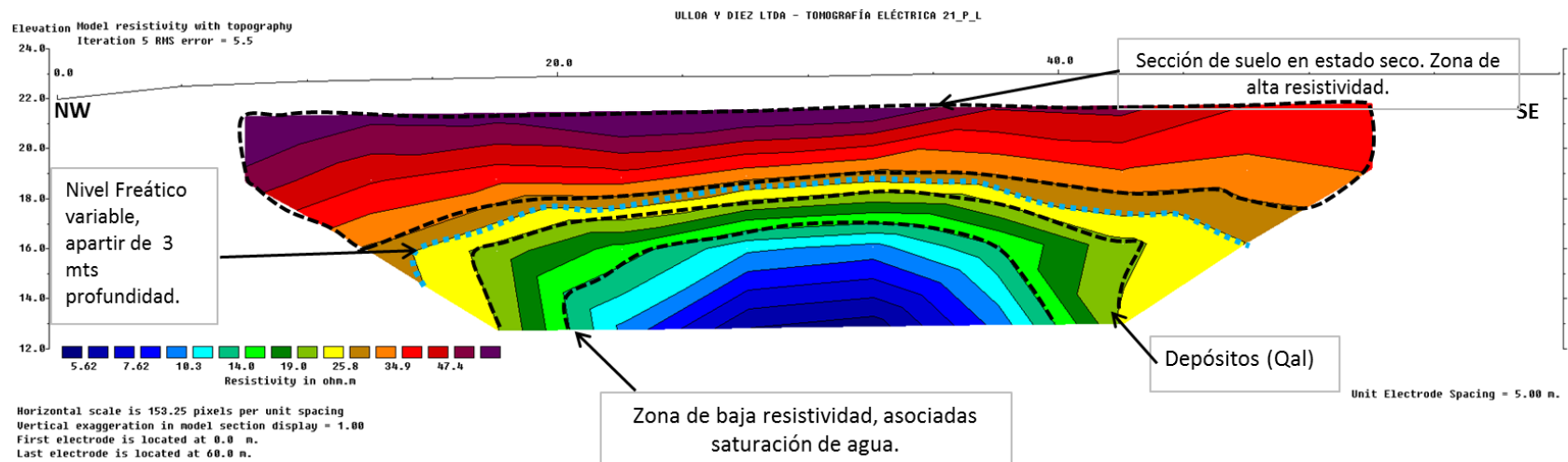


Figura 37. Tomografía Eléctrica 21\_(P)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4





PROYECTO: INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA  
Project :

CONTRATISTA: ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.  
Contractor:

COPIA: DIGITAL  
Copy:

REVISIÓN  
Revision  
0

HOJA  
Sheet  
70 DE 93

NOMBRE DEL CLIENTE: SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

NÚMERO DOCUMENTO: UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

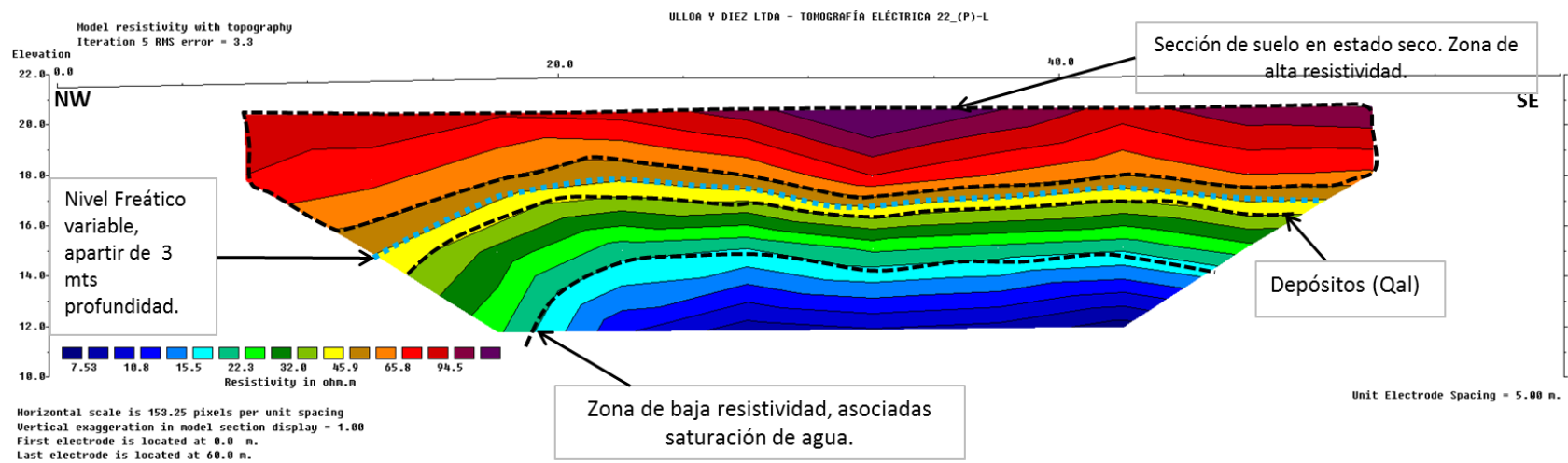


Figura 38. Tomografía Eléctrica 22\_(P)-L. ANEXO 3 Y ANEXO 4



**PROYECTO:** INFORME DE EXPLORACIÓN GEOFISICA CON TOMOGRAFÍAS  
Project : ELÉCTRICAS - SECTOR LA MOJANA

**CONTRATISTA:** ULLOA & DIEZ PROFESIONALES ASOCIADOS Y CIA LTDA.  
Contractor:

**COPIA:** DIGITAL  
Copy:

REVISIÓN	HOJA	DE
Revision	Sheet	Of
0	93	93

**NOMBRE DEL CLIENTE:** SUELOS INGENIERÍA S.A.S.  
Client Name :

**NÚMERO DOCUMENTO:** UD-2015-1268-1290-15/SUELOS E INGENIERIA / SECTOR MOJANA  
Doc Number :

## 5 BIBLIOGRAFIA

- Burger, H.R., Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface: Prentice Hall, 1992
- Gonzales de Vallejo I, Ingeniería Geológica, Pearson Prentice Hall, 2004
- Griffiths, D.H. and King, R.F., Applied Geophysics for Geologists and Engineers, 2nd Edition: Pergamon Press, 1981.
- Kearey, P. and Brooks, M., An Introduction to Geophysical Exploration, 2nd Edition: Blackwell Science Pub., 1991.
- Oyo Geophysical, Seisimager Manual for Seismic Surveys, 2006
- Oyo Corporation, Data analysis and adquisition of active and passive surface wave methods, SAGEEP 2003, Short Course
- Oyo Corporation, Correlation of N value with S-wave velocity and shear modulus, Tsuneo Imai and Keiji Tonouchi, 1982
- Steeples Don, Miller Richard, Seismic Reflection Methods Applied to Engineering, Environmental and Groundwater Problems.
- Steeples, Don, 1979 A repeatable seismic energy source for shallow groundwater exploration, Amer Geophysics.
- Steeples Don, Keiswetter, A field investigation of source parameters for the sledgehammer, Geophysics Vol 60
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., Applied Geophysics, 2nd Edition: Cambridge University Press, 1990